

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

# **Bakalářská práce**

2020

Jan Kelar

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

# **Zabezpečovací systémy pro robotizovaná pracoviště**

Safety Systems for Robotized Workplaces

Student:

Jan Kelar

Osobní číslo

KEL0035

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Petr Novák

Ostrava 2020

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Kelar**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2301R013 Robotika

Téma: **Zabezpečovací systémy pro robotizovaná pracoviště**  
**Safety Systems for Robitized Workplaces**

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši dostupných podkladů k této problematice včetně norem a technických specifikací.
2. Analýza aktuálně používaných bezpečnostních systémů pro robotizovaná pracoviště a jejich subsystémů.
3. Zvolte vhodný model robotizovaného pracoviště.
4. Pro tento model navrhnete vhodný způsob zabezpečení.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Příslušné ČSN/EN normy, směrnice, zákony (např. 2006/42/EC, 2004/108/EC, EN ISO 13850, EN ISO 13849-1, EN ISO 13849-2, ČSN EN ISO 13855, EN ISO 12100, EN ISO 10218-1).
2. Vocetka M. Zabezpečení pracoviště IRB1600 FC - NÁVOD K OBSLUZE ZONOVÝCH SCANNER. Protokol dp předmětu Průmyslové řídicí systémy. Katedra robotiky. 2019
3. Marie Baláková, Bezpečnostní systémy pro pracoviště s průmyslovými roboty, Bakalářská práce, VUT Brno - Fakulta strojního inženýrství 2015.
4. Václav Pavelka, Bezpečnost robotického pracoviště, Bakalářská práce, UTB Zlín, 2014
5. Jan Dziak, Bezpečnost při návrhu automatizovaných systémů, Diplomová práce – vedoucí ing. Jan Babjak, Ph.D., Katedra robotiky, VŠB-TUO, 2019.
6. WWW stránky výrobců bezpečnostních systémů: [www.sick.cz](http://www.sick.cz), [www.pilz.cz](http://www.pilz.cz)

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Dr. Ing. Petr Novák**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

---

prof. Dr. Ing. Petr Novák  
vedoucí katedry

---

prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 15. května 2020.



.....  
Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15. května 2020.

.....  
Podpis studenta

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KELAR, J. *Zabezpečovací systémy pro robotizovaná pracoviště: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky, 2020, 65 s. Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Novák, P.

Bakalářská práce se zabývá systémy zabezpečení pracovišť, na nichž jsou využívány průmyslové roboty. V úvodu práce jsou popsány jednotlivé typy zabezpečovacích systémů využívaných v praxi. Další část se věnuje rešerším prací publikovaných na podobné téma. K detailnějšímu popisu zabezpečení konkrétních robotizovaných pracovišť bylo využito výukových pracovišť s roboty z Centra robotiky Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava. U všech těchto pracovišť jsou uvedeny technické specifikace i fotodokumentace jednotlivých bezpečnostních prvků. V poslední části práce je vypracován vlastní návrh bezpečnostních prvků pro modelové robotizované pracoviště dvou vzájemně spolupracujících robotů.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KELAR, J. *Safety Systems for Robotized Workplaces: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2020, 65 p. Thesis head: prof. Dr. Ing. Novák, P.

Bachelor Thesis is dealing with security systems for industrial robotic workplaces. In the introduction, individual types of security systems used in practice are described. The next part is devoted to research of works published on similar topics. For a more detailed description of the security of specific robotic workplaces, teaching workplaces with robots from the Robotics Center of the Department of Robotics, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB - TU Ostrava were used. Technical specifications as well as photo documentation of individual safety elements are included for all these workplaces. In the last part of the work, the design of safety elements for a model robotic workplace of two mutually cooperating robots is created.

# Obsah

<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>11</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>13</b>
<b>Seznam použitých značek a symbolů.....</b>	<b>14</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>15</b>
<b>1    Legislativa průmyslových robotů .....</b>	<b>16</b>
1.1   Normy pro robotizovaná pracoviště .....	16
<b>2    Typy zabezpečovacích systémů.....</b>	<b>17</b>
2.1   Nouzové zastavení stroje .....	17
2.2   Bezpečnostní dveřní systém .....	18
2.3   Pevné ochranné kryty .....	19
2.4   Virtuální oplocení .....	19
2.4.1   SafeMove2 - systém firmy ABB.....	20
2.4.2   KUKA.SafeOperation - systém firmy KUKA .....	21
2.4.3   Virtual fence - systém firmy DENSO Crafting the Core .....	21
2.5   Koncept bezpečnostního programovatelného PLC .....	22
2.6   Bezpečnostní relé.....	23
2.7   Dvouruční ovládání .....	23
2.8   Bezpečnostní laserový skener.....	24
2.9   Světelný závěs (záclona) .....	25
2.10   Nášlapné rohože.....	26
<b>3    Rešerše bakalářských a diplomových prací na podobné téma .....</b>	<b>27</b>
3.1   Výukové pracoviště s průmyslovým robotem IRB 140 .....	27
3.2   Bezpečnost robotického pracoviště .....	27
3.3   Bezpečnostní systémy pro pracoviště s průmyslovými roboty .....	28
3.4   Bezpečnost obráběcích strojů .....	28
3.5   Výukové pracoviště s průmyslovým robotem ABB IRB140 .....	29
3.6   Bezpečnost při návrhu automatizovaných systémů.....	30
<b>4    Rešerše textů publikovaných v odborných časopisech na podobné téma .....</b>	<b>31</b>
4.1   Zabezpečení ochranných oplocení na robotizovaných pracovištích .....	31



4.2	Jak nejlépe dosáhnout funkční bezpečnosti strojních zařízení? .....	31
<b>5</b>	<b>Konkrétní typy zabezpečení robotizovaných pracovišť .....</b>	<b>33</b>
5.1	Výukové a vývojové pracoviště se dvěma současně pracujícími roboty .....	33
5.1.1	Robot IRB 1200 .....	34
5.1.2	Skener SZ-V32N.....	35
5.1.3	Řídicí jednotka IRC5.....	36
5.2	Výukové a vývojové pracoviště svařování robotem .....	37
5.2.1	Robot IRB 1660ID .....	39
5.2.2	Skener S3000 .....	40
5.2.3	Bezpečnostní světelný závěs deTec4 Core .....	40
5.2.4	Bezpečnostní dveřní systém MGB.....	41
5.2.5	Polohovadlo IRBP L-300.....	42
5.2.6	Svařovací stanice hořáku TSC 2013 .....	43
5.2.7	Řídicí jednotka IRC5.....	43
5.3	Výukové a vývojové pracoviště robotu IRB 140 .....	43
5.3.1	Robot IRB 140 .....	45
5.3.2	Řídicí jednotka IRC5.....	46
5.4	Výukové a vývojové pracoviště třískového obrábění robotem .....	46
5.4.1	Robot IRB 1600 .....	48
5.4.2	Polohovadlo MTD 250.....	49
5.4.3	Skener SZ-V32N.....	49
5.4.4	Řídicí jednotka IRC5.....	49
5.4.5	Bezpečnostní dveřní systém MGB.....	50
<b>6</b>	<b>Návrh zabezpečení robotizovaného pracoviště .....</b>	<b>51</b>
6.1	Výpočet bezpečné vzdálenosti .....	54
6.2	Bezpečnostní prvky na pracovišti.....	56
6.2.1	Bezpečnostní světelný závěs deTec4 Core .....	56
6.2.2	Nášlapná rohož.....	56
6.2.3	Náběžná lišta .....	57
6.2.4	Bezpečnostní oplocení .....	57

<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>62</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1	Nouzové tlačítko [3] .....	17
Obr. 2	Nouzové tlačítko – umístění [4] .....	17
Obr. 3	Bezpečnostní dvevní systém MGB-PN (Profinet) [6] .....	18
Obr. 4	Klec robotizovaného pracoviště I. [7] .....	19
Obr. 5	Klec robotizovaného pracoviště II. [8] .....	19
Obr. 6	SafeMove2 [11] .....	20
Obr. 7	KUKA.SafeOperation [12] .....	21
Obr. 8	Virtual fence [13] .....	21
Obr. 9	PLC [14] .....	22
Obr. 10	Bezpečnostní relé [17] .....	23
Obr. 11	Dvouruční ovládání stroje [19] .....	23
Obr. 12	Bezpečnostní zóny laserového skeneru [20] .....	24
Obr. 13	Laserový skener S3000 Standard firmy SICK [21] .....	24
Obr. 14	Světelný závěs [4] .....	25
Obr. 15	Ochrana světelným závěsem [4] .....	25
Obr. 16	Nášlapné rohože [24] .....	26
Obr. 17	Pracoviště s dvěma současně pracujícími roboty [32] .....	33
Obr. 18	Blokové schéma pracoviště robotů IRB 1200 .....	34
Obr. 19	Robot IRB 1200 [33] .....	34
Obr. 20	Pracovní rozsah robotu IRB 1200 5/0.9 [33] .....	34
Obr. 21	Popis senzoru SZ-V32N [34] .....	35
Obr. 22	Přední skener SZ-V32N [32] .....	36
Obr. 23	Zadní skener SZ-V32N [32] .....	36
Obr. 24	Řídicí jednotka IRC5 [35] .....	36
Obr. 25	Blokové schéma pracoviště robotu IRB 1660ID .....	38
Obr. 26	Pracoviště svařovacího robotu [32] .....	38
Obr. 27	Robot IRB 1660 [36] .....	39
Obr. 28	Pracovní rozsah robotu IRB 1660 [36] .....	39

---

Obr. 29	Skener S3000 [32] .....	40
Obr. 30	Bezpečnostní světelný závěs deTec4 Core [32] .....	40
Obr. 31	Bezpečnostní dveřním systémem MGB [32] .....	41
Obr. 32	Ovládací panel [32] .....	41
Obr. 33	Polohovadla IRBP L-300 [39] .....	42
Obr. 34	Rozměry polohovadla IRBP L-300 [39] .....	42
Obr. 35	Svařovací stanice hořáku TSC 2013 [40] .....	43
Obr. 36	Blokové schéma pracoviště robotu IRB 140 .....	44
Obr. 37	Pracoviště robotu IRB 140 [32] .....	44
Obr. 38	Dveřní magnetický senzor [32] .....	44
Obr. 39	Robot IRB 140 [41] .....	45
Obr. 40	Pracovní rozsah robotu IRB 140 [41] .....	45
Obr. 41	Pracoviště robotu IRB 1600 [32] .....	47
Obr. 42	Blokové schéma pracoviště robotu IRB 1600 .....	47
Obr. 43	Robot IRB 1600 [42] .....	48
Obr. 44	Pracovní rozsah robotu IRB 1600 [42] .....	48
Obr. 45	Polohovadla MTD 250 [32] .....	49
Obr. 46	Bezpečnostní dveřní systémem MGB s oplocením [32] .....	50
Obr. 47	Pracoviště dvou robotů Mitsubishi .....	51
Obr. 48	Umístění bezpečnostních prvků na pracovišti .....	53
Obr. 49	Blokové schéma pracoviště robotů Mitsubishi .....	54
Obr. 50	Pracoviště dvou robotů Mitsubishi se zabezpečením .....	58

**Seznam tabulek**

Tabulka 1	Základní parametry robotu IRB 1200 [33].....	34
Tabulka 2	Vlastnosti robotu IRB 1200 [33].....	35
Tabulka 3	Výkon robotu IRB 1200 [33] .....	35
Tabulka 4	Technické parametry skeneru SZ-V32N [34] .....	36
Tabulka 5	Technické parametry řídicí jednotky IRC5 [35] .....	37
Tabulka 6	Základní parametry robotu IRB 1660ID [36] .....	39
Tabulka 7	Vlastnosti robotu IRB 1660ID [36] .....	39
Tabulka 8	Technické parametry skeneru S3000 [37].....	40
Tabulka 9	Technické parametry světelného závěsu deTec4 Core [38].....	41
Tabulka 10	Technické parametry bezpečnostního dveřního systému MGB [6] .....	41
Tabulka 11	Rozměry polohovadla IRBP L-300 [39] .....	42
Tabulka 12	Technické parametry polohovadla IRBP L-300 [39].....	42
Tabulka 13	Technické parametry čističe hořáku TC 2013 [40].....	43
Tabulka 14	Základní parametry robotu IRB 140 [41].....	45
Tabulka 15	Vlastnosti robotu IRB 140 [41].....	45
Tabulka 16	Výkon robotu IRB 140 [41] .....	46
Tabulka 17	Základní parametry robotu IRB 1600 [42].....	48
Tabulka 18	Vlastnosti robotu IRB 1600 [42].....	48
Tabulka 19	Technické parametry polohovadla MTD 250 [43].....	49
Tabulka 20	Technické parametry světelného závěsu deTec4 Core [38].....	56
Tabulka 21	Technické parametry nášlapné rohože 1 600 x 1 000 [44] .....	56
Tabulka 22	Technické parametry nášlapné rohože 1 600 x 750 [45] .....	56
Tabulka 23	Technické parametry náběžné lišty [46] .....	57
Tabulka 24	Technické parametry sloupu bezpečnostního oplocení [47].....	57
Tabulka 25	Technické parametry panelu bezpečnostního oplocení [48].....	57

**Seznam použitých značek a symbolů**

A	Ampér, základní jednotka proudu v soustavě SI
DC	(direct current) stejnosměrný proud
Hz	Hertz, jednotka frekvence v soustavě SI
J	Joule, jednotka práce a energie, patří mezi odvozené jednotky SI
N	Newton, základní jednotka síly v soustavě SI
SI	Système International
V	Volt, základná jednotka napětí v soustavě SI
W	Watt, základní jednotka výkonu v soustavě SI
bar	je vedlejší jednotka tlaku v soustavě SI (1 bar = 100kPa)
g	Gram, jednotka hmotnosti (jedna tisícinu kilogramu: 1 g = 0,001 kg)
kg	Kilogram, základní jednotka hmotnosti v soustavě SI
m	Metr, základní jednotka délky v soustavě SI
mm	Milimetr, jednotka délky (jedna tisícinu metru: 1 mm = 0,001 m)
s	Sekunda, základní jednotka času v soustavě SI
°C	Stupeň Celsia, jednotka teploty

## Úvod

Když Josef Čapek pro svého bratra Karla do dramatu R.U.R. vymyslel v první polovině 20. století k pojmenování umělé bytosti slovo ROBOT, dal český původ jednomu z nejznámějších, a i v současné době mezinárodně používaných slov.

Robot je využíván ve výrobním procesu zejména proto, aby nahradil lidské zdroje, neboť jeho dovednosti převyšují některé schopnosti člověka. Jeho nespornými přednostmi jsou práce bez odpočinku, stále stejný výkon, minimální chybovost, práce v extrémních pracovních podmínkách a mnoho dalších.

Se stále častějším využíváním robotizovaných pracovišť se zvyšuje efektivita výrobního procesu. I přes dynamicky se rozvíjející moderní obor průmyslové automatizace je vždy nezbytné eliminovat rizika a zajistit bezpečnost v okolí robotu, jak pro osoby, tak pro další stroje, jejich části nebo materiál.

Ve své práci jsem se zabýval zabezpečovacími systémy pro robotizovaná pracoviště, to znamená pracoviště, kde obsluha například zajišťuje pouze dohled nad průběhem výroby až po možnost spolupráce robotu s člověkem.

V úvodu práce jsem nastínil legislativní rámec pro bezpečnost při využívání průmyslových robotů a robotizovaná pracoviště. Podrobněji jsem popsal jednotlivé typy zabezpečovacích systémů využívaných v praxi. Vypracoval jsem rešerše několika bakalářských prací, diplomových prací a textů (publikovaných v odborných časopisech) s obdobnou problematikou. Obsáhlou část své bakalářské práce jsem věnoval detailnějšímu popisu zabezpečení konkrétních typů robotizovaných pracovišť z Centra robotiky Katedry robotiky, Fakulty strojní, Vysoké školy báňské – Technické univerzity (dále jen „VŠB – TU“) Ostrava. V poslední části jsem navrhl bezpečnostní prvky pro robotizované pracoviště dvou robotů Mitsubishi.

## 1 Legislativa průmyslových robotů

Při zapojení průmyslových robotů do výroby je nutno na všech pracovištích dodržovat normy, nařízení a vyhlášky. Cílem legislativních předpisů je eliminovat rizika zranění pracovníků obsluhujících tato robotizovaná pracoviště. Obsluha robotizovaných systémů může představovat nebezpečí v případě selhání lidského faktoru. Proto jsou průmyslové roboty vybaveny zabezpečovacími systémy.

Každé robotizované pracoviště se musí řídit normami, které jsou dohodou mezi dvěma stranami. Těmito stranami mohou být výrobci strojních zařízení či robotizovaných systémů, kontrolní orgány nebo spotřebitelé využívající roboty (průmyslové, servisní, kolaborativní, a další např. ve výrobě, údržbě, dopravě, zdravotnictví, zemědělství atd.). Na vytváření a schvalování norem pro robotizovaná pracoviště se však nepodílí vláda ani úřady, ale příslušné organizace (ISO, IEC, CEN, CENELEC). Tyto normy nejsou legislativními předpisy, jejich formulace vytváří rámec pomoci při jejich dodržování. [1]

V České republice vydávání norem, které jsou v souladu s právními předpisy ČR, zajišťuje Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ). Z důvodu jednotnosti norem v rámci Evropy vycházejí národní normy obvykle z norem evropských. [1]

### 1.1 Normy pro robotizovaná pracoviště

Primární normou pro správné používání robotizovaných pracovišť je ČSN EN ISO 12100. Tato norma se zabývá bezpečností při konstrukci strojního zařízení – specifikuje terminologii, zásady a metodologii. Mezi další základní a velice důležitou normu patří ČSN EN ISO 10218, která definuje požadavky na bezpečnost průmyslových robotů. Norma se dělí na dvě části: první část označená ČSN EN ISO 10218-1 se zabývá roboty a druhá část ČSN EN ISO 10218-2 se zaměřuje na systémy robotů a jejich integraci. K posuzování bezpečnosti u pracovišť s průmyslovými roboty slouží norma ČSN EN ISO 13850, která stanovuje konstrukční zásady pro funkci nouzového zastavení. Umístění bezpečnostních zařízení, které vyhodnocuje rychlost přiblížení částí lidského těla definuje norma ČSN EN ISO 13855. Další důležitou normou je ČSN EN ISO 13857, jež určuje bezpečné vzdálenosti k nebezpečným prostorům strojního zařízení. ISO 14120: 2002 specifikuje požadavky na pevné a mobilní ochranné kryty. Norma ČSN EN ISO 14119 definuje zásady pro konstrukci a volbu blokovacích zařízení spojených s ochrannými kryty (např. bezpečnostní zámky). Bezpečnostní části ovládacích systémů (Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci) jsou vyjádřeny normou ČSN EN ISO 13849-1. [2]



## 2 Typy zabezpečovacích systémů

Nejpoužívanějšími typy zabezpečovacích systémů pro robotizovaná pracoviště jsou:

- Nouzové zastavení stroje
- Bezpečnostní dveřní systémy
- Pevné ochranné kryty
- Virtuální oplocení
- Koncept bezpečnostního programovatelného PLC
- Bezpečnostní relé
- Dvouruční ovládání
- Bezpečnostní laserový skener
- Světelný závěs (záclona)
- Nášlapné rohože

### 2.1 Nouzové zastavení stroje



Obr. 1 Nouzové tlačítko [3]



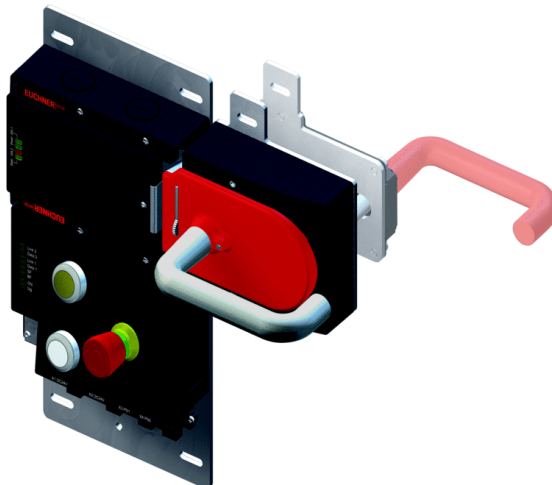
Obr. 2 Nouzové tlačítko – umístění [4]

V současné době je již každý průmyslový stroj vybaven nejzákladnějším bezpečnostním prostředkem ochrany provozu – nouzovým tlačítkem zastavení, často označovaným „E-STOP“ z anglického „Emergency STOP button“, či německé označení „Not-Aus“. Tímto tlačítkem je možné zastavit provoz celého zařízení nejen u pohyblivých částí v jakémkoliv okamžiku jeho provozu. Nouzové zastavení podléhá níže uvedeným pravidlům:

- tlačítko nouzového zastavení se musí nacházet na snadno přístupném místě,
- příkaz k nouzovému zastavení musí mít prioritu před všemi ostatními povely a funkcemi v jakémkoliv provozním režimu,
- systém zastavení musí reagovat okamžitě (co možná nejrychleji), aniž by docházelo ke vzniku dodatečných rizik,

- k opětovnému spuštění stroje nepostačuje resetování E-STOP tlačítka, ale je nutné použít ovládací prvky k tomu určené. [5]

## 2.2 Bezpečnostní dveřní systém



Obr. 3 Bezpečnostní dveřní systém MGB-PN (Profinet) [6]

Pro zabezpečení dveří v ochranných oploceních robotizovaných pracovišť na výrobních linkách se používá stavebnicový bezpečnostní dveřní systém. Jako příklad lze uvést MGB-PN (Profinet). Tento systém komunikuje přes rozhraní Profinet. Systém MGB zajišťuje pomocí integrovaných ovládacích prvků (přepínače, tlačítka) zabezpečení i ovládání dveří v PLe/kat.4 dle ČSN EN ISO 13849-1. [6]

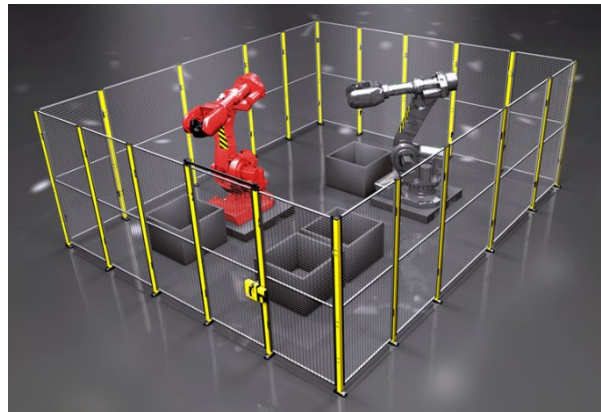
Vlastnosti:

- kombinace mechanického zamykání a bezkontaktních bezpečnostních spínačů,
- integrované rozhraní Profinet-RT,
- magnetické zámky, monitorování uzamčení,
- pro nouzové otevření chráněného prostoru zevnitř – možnost umístění vnitřní kliky, indikátoru a tlačítka nouzového zastavení (E-STOP)
- využití na profily 30-50 mm,
- dovolená tolerance seřízení dveří v rozsahu až  $\pm 4$  až 5 mm dle osy,
- maximální blokovací síla 2 000 N,
- odolnost proti nárazu 300 J,
- odolný skelet z kovové slitiny, kryt z plastu vyztuženého skelnými vlákny. [6]

### 2.3 Pevné ochranné kryty



Obr. 4 Klec robotizovaného pracoviště I. [7]



Obr. 5 Klec robotizovaného pracoviště II. [8]

Ochranné kryty instalované jako pevná součást průmyslového pracoviště, jako je například pracovní prostor robotu, slouží k mechanickému zabránění vstupu do rizikové oblasti. Ochranné kryty se skládají z pohyblivých částí (dveře) a nepohyblivých částí (např. klec, drátěné oplocení, plexisklo, zástěny s plnou ocelovou výplní s průzory nebo bez průzorů atd.). Při použití ochranných krytů, přes něž jde vidět, se minimalizuje riziko úrazu, neboť není nutno vstupovat do prostoru robotizovaného pracoviště tak často z důvodu kontroly probíhajícího pracovního procesu stroje. Nevýhodou některých materiálů použitých na výrobu pevných ochranných krytů (např. u plastů) může být jejich menší odolnost vůči znečištění nebo mechanickému oděru, které mohou způsobovat např. odlétávající špony při obrábění, jiskry při svařování atd. U takovýchto ochranných krytů je nutno počítat s nutností častější výměny krytu. Vhodné umístění ochranných krytů musí zajišťovat dostatečný odstup od nebezpečného prostoru i s přihlédnutím k velikosti otvorů v ochranných krytech, aby se zamezilo kontaktu jakékoliv části lidského těla s robotem nebo jiným pracovním strojem.

Norma ČSN EN ISO 14120 „Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů“ stanovuje kritéria pro použití pevných ochranných krytů. [9]

### 2.4 Virtuální oplocení

Při pracovním procesu robotizovaného pracoviště mají zabezpečovací systémy důležitou roli v ochraně zdraví. Tzn. zabrání-li vstupu člověka do prostoru činnosti robotu, zároveň často přeruší celou výrobu. Rizika mohou vznikat také v případě chybného

naprogramování robotu, kdy může dojít až k tomu, že robot prorazí bezpečnostní bariéru. Z tohoto důvodu je výhodnější virtuální zabezpečení, které tato omezení nemá. Zabezpečovací systém – virtuální oplocení lze napláňovat a vizualizovat ve virtuálním prostředí počítače. [10]

Možností využití virtuálního oplocení robotizovaných pracovišť lze v současné nabídce firem nalézt více. Níže uvádím tři typy.

#### 2.4.1 SafeMove2 - systém firmy ABB



Obr. 6 SafeMove2 [11]

Softwarové řešení tohoto virtuálního zabezpečení, které je flexibilní a plně integrované, usnadňuje spolupráci člověka s robotem, umožňuje použití aplikací nebezpečných pro člověka (rentgenová kontrola, laserové záření). Zkracuje dobu spouštění, monitoruje pozice a šetří prostor. Konfiguračním a simulačním nástrojem pro SafeMove2 je RobotStudio, k němuž není nutná licence. V rámci tohoto programu lze programovat aplikace robotů, tvořit bezpečnostní konfigurace a ty provádět v systému I/O, simulovat bezpečnostní systém a automatické vytvoření bezpečnostních zón. [10]

Funkce systému SafeMove2:

**Safe Zones** – chrání obsluhu, zefektivňuje provoz zařízení pracoviště, umožňuje optimalizaci velikosti pracoviště a zjednodušuje ochranu zařízení.

**Safe Axis Ranges** – snižuje nároky na údržbu, posiluje kontrolu, nahrazuje elektromechanické koncové spínače.

**Safe Robot Speed** – kontroluje rychlost robotu, aby mohla obsluha pracovat v jeho blízkosti.

**Safe Standstill** – umožňuje obsluhu provádět úkoly v bezprostřední blízkosti robotu a dohlíží na prostoje os robotu bez vypínání motorů.

**Cyclic brake check** – zajišťuje pravidelnou kontrolu brzd. [10]

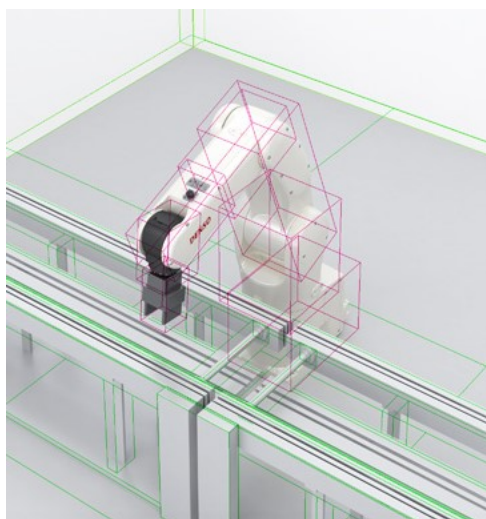
#### 2.4.2 KUKA.SafeOperation - systém firmy KUKA



Obr. 7 KUKA.SafeOperation [12]

Virtuální zabezpečení KUKA.SafeOperation kombinuje nejnovější hardwarové a softwarové součásti, které jsou významné z hlediska pracovní bezpečnosti a monitoringu. Není tedy nutné mechanické monitorování pracovních oblastí a zredukuje se doba jednotlivých cyklů. I tento systém zajišťuje bezpečnou a efektivní spolupráci obsluhy pracoviště s robotem. Příkladem může být zkrácení vzdálenosti od operátora a bezpečné zastavení provozu při manuálním nakládání v ručních nakládacích stanicích. [12]

#### 2.4.3 Virtual fence - systém firmy DENSO Crafting the Core



Obr. 8 Virtual fence [13]



System Virtual fence v překladu virtuální plot je zabezpečovací systém, který brání robotu kolizi mezi roboty navzájem, nástroji a zařízeními celého robotizovaného pracoviště. Softwarový systém umožňuje monitoring jednotlivých součástí pracoviště i jeho obsluhy. Modely jsou vytvářeny s WINCAPS III a monitorování lze zahájit nebo ukončit pomocí příkazu. [13]

## 2.5 Koncept bezpečnostního programovatelného PLC



Obr. 9 PLC [14]

U tohoto konceptu bezpečnost strojů zajišťují řídicí jednotky, jež prostřednictvím bezpečnostních snímačů nebo akčních prvků vyhodnocují jejich stavy a v případě hrozícího rizika aktivují vypnutí stroje nebo jeho částí. Tyto řídicí jednotky je možné rozdělit do dvou kategorií: programovatelné jednotky (bezpečnostní PLC) a neprogramovatelné jednotky (bezpečnostní relé). Výhodou PLC je jejich variabilita při programování uživatelem. Programování se obvykle provádí v běžném počítači (notebooku nebo tabletu) ve výrobcem dodávaném nastavovacím/programovacím softwaru. Obsluha zařízení si dle potřeb definuje výslednou řídicí logiku a přiřazuje funkci univerzálně koncipovaným bezpečnostním vstupům a výstupům. [15]

Příkladem programovatelného PLC může být systém samos®pro compact, který umožňuje integrované připojení přes většinu nejběžnějších průmyslových sítí (Ethernet). Kapacitu tohoto PLC lze rozšířit až na 116 bezpečnostních vstupů a 56 bezpečnostních výstupů. Tudiž bude vyhovovat i větším zařízením a systémům vyžadujícím hlavně flexibilitu a bezpečnost u automatizovaných procesů. [16]

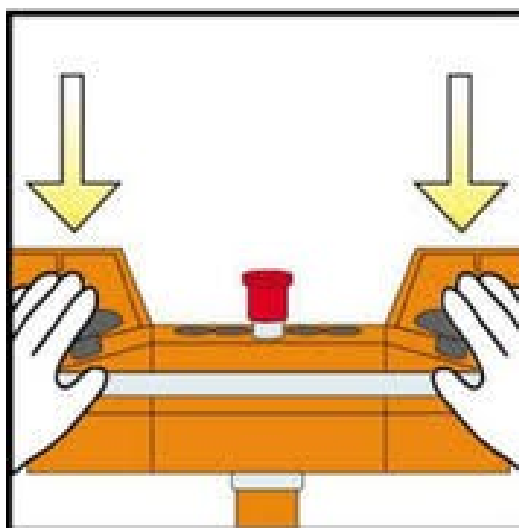
## 2.6 Bezpečnostní relé



Obr. 10 Bezpečnostní relé [17]

Neprogramovatelné jednotky bezpečnostní relé monitorují každý koncový spínač jednokanálově. Tento zabezpečovací systém zpracovává různé signály z tlačítek nouzového zastavení, senzorů, světelných závor, polohových spínačů, modulů dvouručního ovládání atd. a vyhodnocují je. Bezpečnostní elektronické relé ESR5 umožňuje realizaci aplikace v souladu s nejvyššími bezpečnostními požadavky mezinárodních norem. Splňují kategorii 4 dle ČSN EN 954-1, úroveň vlastností PL e dle ČSN EN ISO 13849-1 nebo SIL CL 3 dle ČSN EN 62061. [18]

## 2.7 Dvouruční ovládání

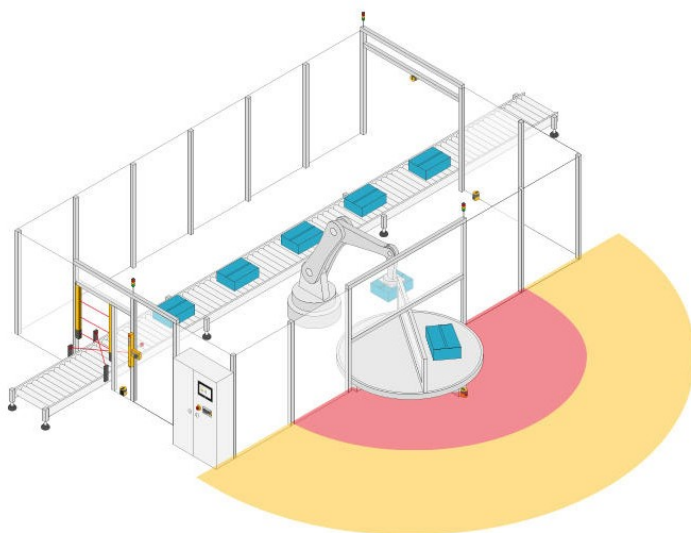


Obr. 11 Dvouruční ovládání stroje [19]

Princip tohoto zařízení spočívá v tom, že obsluha stroje, která manipuluje uvnitř nebezpečného prostoru (typicky např. zakládání obrobku pro lis) má obě ruce na tomto dvouručním ovládání. Při uvolnění jedné ruky musí být okamžitě ukončen jakýkoli

nebezpečný pohyb stroje (stroj se musí ihned zastavit), aby nedošlo ke zranění obsluhy. Toto zařízení je však vhodnější spíše pro řezačky nebo lisy.

## 2.8 Bezpečnostní laserový skener



Obr. 12 Bezpečnostní zóny laserového skeneru [20]



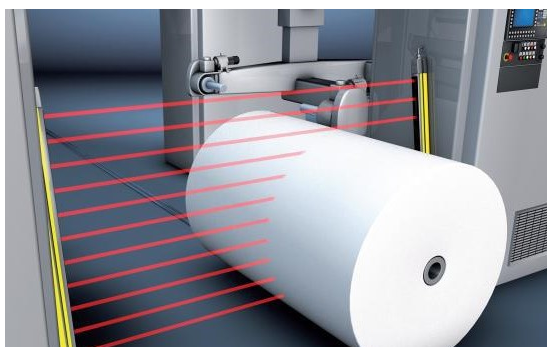
Obr. 13 Laserový skener S3000 Standard firmy SICK [21]

Pro zajištění bezpečnosti osob (obsluhy robotizovaného pracoviště) i strojů se využívá bezpečnostní laserový skener, jež pracuje na praxí ověřeném principu měření doby letu světelného impulzu. Laserový skener zabezpečuje ochranné pole, které má obvykle tvar rozvěřeného vějíře (viz obr. 11). Při neobvyklém pohybu v oblasti ochranného pole laserový skener zaznamená nežádoucí těleso a vyšle impuls k zastavení stroje (robotu). [22]

Příkladem může být bezpečnostní laserový skener S3000 Standard od firmy SICK. Umožňuje značnou rozmanitost použití vzhledem k velkému dosahu ochranného pole (7 metrů) a možnosti současné kontroly až čtyř ochranných polí prostřednictvím bezpečnostního řídicího systému. Výhodou vertikální montáže senzoru je jeho snadné nastavení a zajištění bezpečného provozu. Využití konfigurační paměti pro okamžité opětovné zprovoznění je optimální pro zabezpečení pracoviště bez ztráty produktivity. [21]



## 2.9 Světelný závěs (záclona)



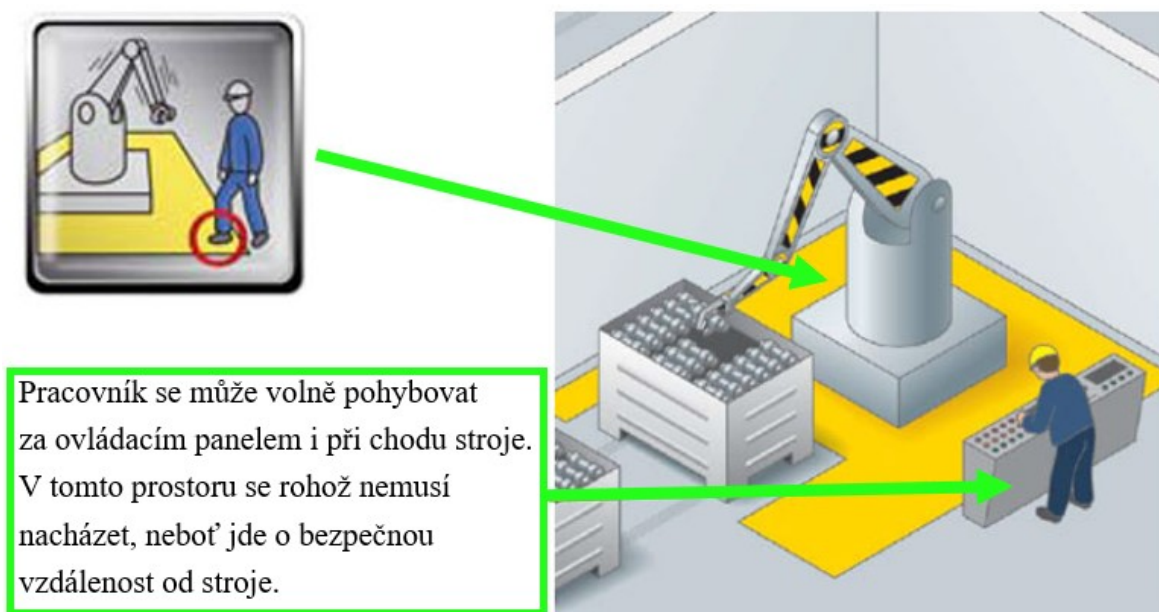
Obr. 14 Světelný závěs [4]



Obr. 15 Ochrana světelným závěsem [4]

Světelné závěsy z anglického „light curtains“ neboli optické závory (optické stěny) jsou ochranná optická mnohopaprsková elektronická zařízení. Soustava rovnoběžných různě dlouhých paprsků mezi vysílačem a přijímačem vytvářejí plošnou detekci rizik (osoby, objekty). Sloupky se vyrábějí v různých délkách a s různými rozestupy mezi paprsky. Světelné závěsy patří mezi jedny z nejpoužívanějších čistě elektronických bezpečnostních zařízení. Zajišťují bezpečnost takových pracovišť, kde není možné využít mechanické zábrany (klec, drátěné oplocení, plexisklo, zástěny). Mezi takovéto prostory patří místa, kde je nutný častý přístup obsluhy nebo kde se v rizikovém prostoru automaticky pohybuje výrobní materiál. Na robotických pracovištích, velkých automatických obráběcích strojích se tento typ zabezpečení obvykle využívá. [23]

## 2.10 Nášlapné rohože



Obr. 16 Nášlapné rohože [24]

Nášlapné rohože se především používají tam, kde nelze snadno použít bezdotykové bezpečnostní systémy nebo na pracovištích s velkým znečištěním. Obvykle se umísťují na přední straně stroje nebo v blízkosti nebezpečných robotů. Nášlapná rohož reaguje na tlak při vstupu na kteroukoliv její část, dojde k vyslání signálu řídicímu systému a okamžitému zastavení stroje. [24]

### 3 Rešerše bakalářských a diplomových prací na podobné téma

#### 3.1 Výukové pracoviště s průmyslovým robotem IRB 140

Diplomová práce

Autor práce

Bc. Ondřej Seidler

Vedoucí práce

prof. Dr. Ing. Petr Novák

Datum vytvoření práce

19. 5. 2014

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Předmětem této diplomové práce bylo navrhnout výukové úlohy pro práci s automatizovanými systémy, jež byly k dispozici v laboratoři v Centru robotiky (Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava). Autor ve své práci analyzoval stávající dispozice pracoviště s moderními roboty od firmy ABB využívané pro výukové účely. Diplomová práce se v jedné z úvodních kapitol zabývala zjišťováním technických parametrů jednotlivých komponentů, způsobu zapojení i ovládání šestiosého robotu IRB 140. V diplomové práci byly po sestavení požadavků vybrány vhodné objekty pro manipulaci. Autor využil dostupný robot a stávající článkový dopravník, ve své práci pak vytvořil návody ke třem výukovým úlohám – stavba pyramidy, třídění destiček s kruhovou dírou a třídění dominových kamenů. V úlohách bylo využíváno programování (prostřednictvím FlexPendantu), dále simulace (v RobotStudiu) a vytvoření programu v jazyce C# k přeposílání zprávy skrze sériový port. Úlohy pak byly testovány skupinami studentů, kteří dosud neprogramovali ani nepracovali se softwarem RobotStudio a na základě jejich poznatků byla problematická místa upravena. Autor kladně hodnotí funkci Smart Component (namísto Event Manageru), jež je součástí RobotStudia, z důvodu zrychlení vytvářené simulace i možnosti využití v dalších simulacích, kde by vytvořené komponenty měly stejné vlastnosti. [25]

#### 3.2 Bezpečnost robotického pracoviště

Bakalářská práce

Autor práce

Václav Pavelka

Vedoucí práce

Ing. Petr Navrátil, Ph.D.

Datum vytvoření práce

10. 6. 2014

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Autor bakalářské práce se zaměřil na analýzu bezpečnosti robotických pracovišť. První kapitoly se věnovaly normativním a legislativním požadavkům týkajícím se bezpečnosti robotických pracovišť a obsahovaly popis technických prostředků pro zabezpečení

robotického pracoviště. Autor ve své práci také sledoval nové trendy v této oblasti – popisoval celoplošnou bezpečnost, kterou by zajišťovaly projektory a kamery, na jejichž pokyn by v případě narušení bezpečnosti došlo k omezení nebo zastavení robotu. Práce obsahovala také praktickou část věnovanou příkladům zabezpečení konkrétních robotických pracovišť ve firmě na výrobu kuchyní. [26]

### 3.3 Bezpečnostní systémy pro pracoviště s průmyslovými roboty

Bakalářská práce

Autor práce Marie Baláková

Vedoucí práce Ing. Aleš Pochylý

Datum vytvoření práce 25. 5. 2015

Vysoké učení technické v Brně

V této bakalářské práci se autorka zabývala analýzou bezpečnostních systémů robotických pracovišť, platných norem, směrnic a legislativou. V práci byly popsány průmyslové roboty, postup při zabezpečování robotických pracovišť (s rozdělením ochranných opatření) a tehdy platná legislativa. Dalším cílem byl návrh zabezpečení pro konkrétní pracoviště: „... dvou-vřetenový soustružící stroj s šestiosým robotem a vstupním dopravníkem, který slouží k obrobení zápichu pro prachovku u vnějšího kloubu řízení.“ [9] Autorka ve své práci posuzovala bezpečnost v jednotlivých pracovních cyklech, zjistila, že zabezpečení pracoviště není dostatečné. Proto navrhla zlepšení ochrany obsluhy strojních zařízení např. umístěním přídatného plexiskla k pletivu či optickou závorkou a prokluzovou spojku v další fázi výrobního procesu nebo umístění plechového tunelu. Vypracovala funkční návrh zabezpečení pro zadané pracoviště, tak aby splňovalo platnou legislativu. [9]

### 3.4 Bezpečnost obráběcích strojů

Bakalářská práce

Autor práce Jakub Böhm

Vedoucí práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

Datum vytvoření práce 23. 5. 2016

Vysoké učení technické v Brně

Bakalářská práce byla věnována bezpečnosti obráběcích strojů. Autor vypracoval přehled základních kritérií a požadavků v této oblasti. V úvodu práce se věnoval legislativě Evropské unie i české legislativě. Rozpracoval také technické normy mezinárodní, harmonizované, evropské a národní. Zmínil základní normu týkající se bezpečnosti

obráběcích strojů, kterou je harmonizovaná norma ČSN EN ISO 12100. V jedné kapitole autor vypracoval analýzu rizik nezbytnou pro vytváření bezpečnostních opatření. V praktické části byla z důvodu univerzálnosti stroje zvolena elektroerozivní hloubička (AgieCharmilles FORM 20) využívaná pro obrábění. Mezi významná rizika, která byla v práci identifikována, patřilo mechanické nebezpečí způsobené pohybem částí stroje, nebezpečí způsobené hořlavými kapalinami, elektromagnetické a indukční nebezpečí, rizika spojená s odpadními látkami a nejvýznamnější riziko vyplývající z velké elektrické energie používané při obrábění. Autor ve své práci upozornil na to, že i přes závažnost těchto výše zmíněných rizik, v praxi dochází k záměrné deaktivaci nebo demontáži bezpečnostních prvků, z důvodu usnadnění manipulace s obrobkem. Z důvodu ochrany zdraví autor potvrdil nezbytnost dalšího zkoumání a obnovy bezpečnostních norem. [27]

### 3.5 Výukové pracoviště s průmyslovým robotem ABB IRB140

Diplomová práce

Autor práce

Bc. Michal Vocetka

Vedoucí práce

Ing. Václav Kryš, Ph.D.

Datum vytvoření práce

21. 5. 2018

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Návrh výukového robotizovaného pracoviště byl předmětem této diplomové práce. Pracoviště sloužící k podpoře výuky ovládání a online/offline programování průmyslových robotů ABB s řízením IRC5 bylo realizováno s využitím studentské grantové soutěže. Autor vycházel ze zkušeností z praxe v BranoGroup a.s. a školení ve školícím centru ABB. V úvodu práce autor analyzoval dostupná výuková pracoviště firem ABB, FANUC a KUKA. Pro navrhované pracoviště byl vybrán průmyslový robot ABB IRB140 TYPE C s řízením IRC5 a systém pro automatickou výměnu nástrojů SWS 005 (výrobce SHUNK). Součástí zadání bylo využití výukového pracoviště pro simulaci svařovacích a manipulačních úloh. Požadavkový list se v diplomové práci dělil na konstrukci pracoviště a výuku na pracovišti. V části práce, která byla věnována konstrukci pracoviště, autor popisoval konstrukční řešení, realizované efektory, pracovní pomůcky, pneumatické prvky, elektroinstalace, včetně položkového rozpočtu. Pracoviště bylo vyrobeno a následně také sestaveno v Centru robotiky Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava. V rámci výukového procesu na dvou skupinách studentů bylo pracoviště testováno, byly upravovány studijní materiály a také vznikl návrh další generace pracovišť. [28]

### 3.6 Bezpečnost při návrhu automatizovaných systémů

Diplomová práce

Autor práce

Bc. Jan Dziak

Vedoucí práce

Ing. Ján Babjak, Ph.D.

Datum vytvoření práce

20. 5. 2019

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Diplomová práce se zabývala postupem při návrhu nebo integraci nového zařízení automatizovaného pracoviště. V úvodní analýze autor popsal základní normy a směrnice, povinnosti výrobce a návrh bezpečného stroje. Věnoval se zde v jedné kapitole také kolaborativní robotice, jejíž bezpečný provoz je dán také směrnicemi (specifikace ISO/TS 15066). V dalších kapitolách se autor zabýval požadavky a různými typy ochranných zařízení. Dále navrhl pracoviště sloužící k překladi balíků z kartonových krabic do plastových beden. Stanovil jeho koncepci, logiku a bezpečnostní prvky. Zabezpečení pracoviště vycházelo z provedení pracovních rizik, tzn. jaké operace a v jaké časové posloupnosti robot na pracovišti provádí. Byly použity tři metody analýzy rizik, po jejichž vyhodnocení autor pracoviště zabezpečil. Autor vyhodnotil program Safexpert jako nejvhodnější pro začínající pracovníky, neboť tato metoda není složitá a není časově náročná. V diplomové práci se povedlo nalézt všechna rizika, odstranit je nebo snížit na minimum. Součástí návrhu bylo také zajištění údržby bezpečnostních prvků. [29]

## 4 Rešerše textů publikovaných v odborných časopisech na podobné téma

### 4.1 Zabezpečení ochranných oplocení na robotizovaných pracovištích

Zdroj                      Automa časopis pro automatizační techniku 1/2014

Odborný článek pojednává o zajištění bezpečnosti osob pracujících na strojních zařízeních včetně robotizovaných pracovištích. Touto problematikou se zabývá a mnoho řešení nabízí německá firma Euchner. Moderní bezpečnostní systémy CES, CEM, CET a MGB dosahují úrovně parametrů PL e (podle ČSN EN ISO 13849-1). Vzhledem k tomu, že zastavení robotu je v případě nouze velmi rychlé, není obvykle nutné používat bezpečnostní prvky se zamykáním. Oplocení již mohou být vybavena kompletním systémem integrovaným do ocelové petlice tvořeným bezpečnostním transpondérovým (bezkontaktním) spínačem. [30]

Dveřní systém MGB je nejkomplexnějším zástupcem, který plní bezpečnostní funkce a současně může nahradit i ovládací panel instalovaný na oplocení v blízkosti dveří. MGB funguje i jako dveřní zámek s možností ovládání zamykacího mechanismu signálem z PLC zobrazením diagnostické informace. K novějším možnostem zabezpečení patří dveřní madlo, jehož součástí je zámková vložka umístěná v pouzdře a tou lze madlo uzamknout, zabránit tak neoprávněným osobám otevřít dveře, případně vstoupit do pracovního prostoru robotu. V odborném článku je uvedeno, že pro tento bezpečnostní dveřní systém lze využít možnost komunikace prostřednictvím integrovaného rozhraní Profinet, čímž se velmi zjednoduší jeho zapojení, konfigurace a diagnostika. [30]

### 4.2 Jak nejlépe dosáhnout funkční bezpečnosti strojních zařízení?

Zdroj                      Automa časopis pro automatizační techniku 8-9/2016

Autor                     Ing. Zdeněk Bekr, Siemens, s. r. o.

Kombinování bezpečnostních funkcí na jednom strojním zařízení je podstatou tohoto odborného článku. Toto zabezpečení několika bezpečnostními prvky současně je považováno za nezbytné k minimalizaci zbytkového rizika a k zajištění maximální ochrany pracovníků i strojů, aby zároveň nebyla omezena produktivita strojního zařízení. To znamená pouze s jedinou bezpečnostní funkcí si lze vystačit již zcela výjimečně. Jednotlivé bezpečnostní funkce je zpravidla nutné vzájemně kombinovat. [31]

Zařízení monitorující požadavek na bezpečnostní funkci je možné také zapojit do série. Kaskádou bezpečnostních funkcí je označováno propojení dvou nebo více částí strojního zařízení tak, že požadavek na bezpečnostní funkci v jedné z částí zařízení vyvolá bezpečnostní funkci v jiné části. Výhodou tohoto kaskádního zabezpečení je logické propojení několika bezpečnostních funkcí: vytvoření závislosti nadřazená – podřazená bezpečnostní funkce a k výběrovému vypínání částí zařízení. Autor odborného článku uvádí

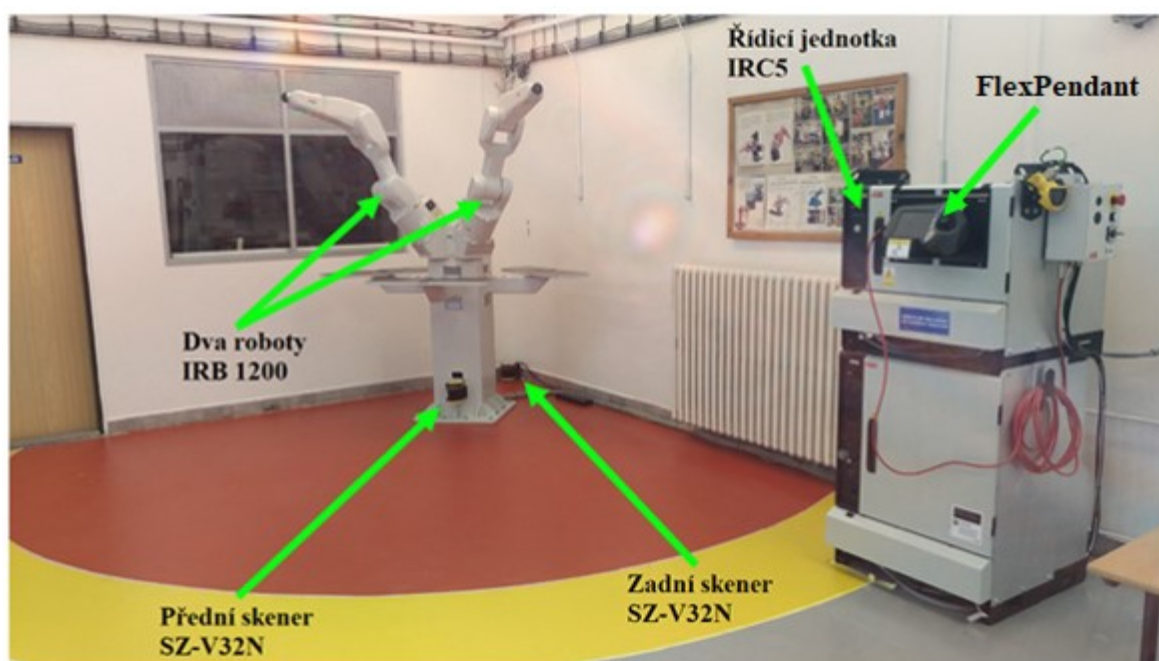
pro názornost výstižný příklad: „*Strojní zařízení se skládá z částí 1 a 2, v každé z nich je umístěno tlačítko nouzového zastavení, přičemž část 1 splňuje požadavky SIL 3/PL e, část 2 požadavky SIL 2/PL d (požadovaná úroveň bezpečnosti vyplývá z analýzy rizik). Zatímco stisknutí tlačítka nouzového zastavení v části 2 vyvolá požadovanou bezpečnostní funkci jen v této části zařízení, stisknutím tlačítka nouzového zastavení v části 1 se vybaví bezpečnostní funkce v obou částech strojního zařízení.*“ [31] Při instalaci tlačítek k potvrzení poruchy a spuštění zařízení musí být vybráno místo s dobrou viditelností na rizikový prostor. Bezpečnostní signál v rámci rozvaděče lze přenášet jednokanálově (až do SIL 3/PL e) vzhledem k tomu, že uložení vodičů v rozvaděči je považováno za odolné proti křížovému spojení (vyloučení závady ve smyslu ČSN EN 13849-2). Pro přenos několika bezpečnostních signálů mezi jednotlivými částmi strojního zařízení, lze dle autora využít přednosti průmyslové sítě. [31]



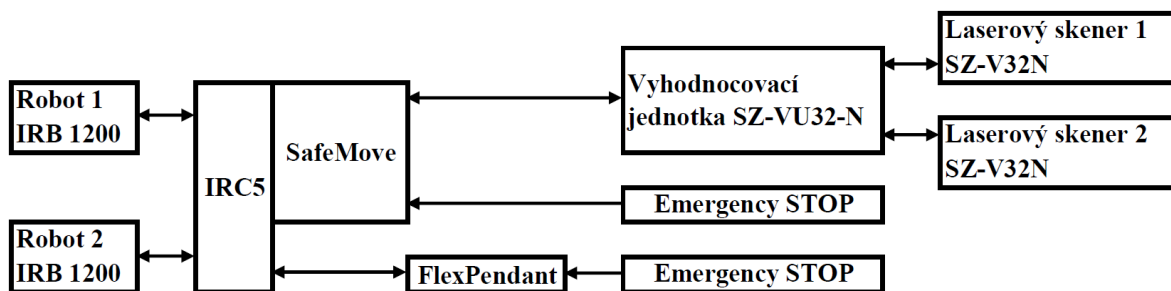
## 5 Konkrétní typy zabezpečení robotizovaných pracovišť

### 5.1 Výukové a vývojové pracoviště se dvěma současně pracujícími roboty

Popisované pracoviště se nachází v Centru robotiky (stará menza) Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava. Tento typ robotizovaného pracoviště je vybaven dvěma roboty IRB 1200 od firmy ABB. K zabezpečení tohoto pracoviště se využívají dva laserové skenery SZ-V32N od firmy Keyence. Přestože je pracoviště umístěno v rohu místnosti, je nutno zajistit zabezpečení i ze zadní strany robotů. Přední skener monitoruje přístupový prostor k robotu z důvodu ochrany osob při vstupu do zabezpečeného pracovního prostoru robotu vyznačeného na podlaze. Zadní skener monitoruje zadní část robotu, aby nedošlo ke spuštění systému, pokud by se obsluha pohybovala za robotem. Zadní skener je také vybaven šikmou plochou určenou k zamezení možnosti postavit se na skener, tím jej oklamat před detekcí příslušné osoby. Na obrázku (Obr. 17) se šikmá plocha na zadním skeneru nenachází (starší fotografie), detail kompletního zadního skeneru se šikmou plochou zachycuje obrázek (Obr. 23). Pro řízení robotů se využívá řídicí systém IRC5 od firmy ABB, jehož součástí je FlexPendant, pomocí kterého se může robot manuálně ovládat.



Obr. 17 Pracoviště s dvěma současně pracujícími roboty [32]

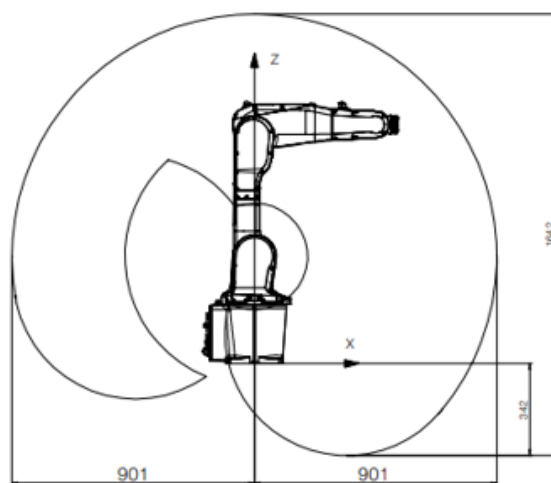


Obr. 18 Blokové schéma pracoviště robotů IRB 1200

### 5.1.1 Robot IRB 1200



Obr. 19 Robot IRB 1200 [33]



Obr. 20 Pracovní rozsah robotu IRB 1200 5/0.9 [33]

Verze robotu	Dosah	Nosnost	Zatížení nosného	Počet os
IRB 1200-5/0.9	901 mm	5 kg	0.3 kg	6

Tabulka 1 Základní parametry robotu IRB 1200 [33]

Integrované napájení signálu	10 signálů v kloubu
Integrovaný přívod vzduchu	4 vzduchové přívody v kloubu (5 bar)
Integrovaný Ethernet	jeden port 100/10 Base TX Ethernet
Opakovatelnost pozice	0,025 mm
Upevnění robotu	v jakémkoli úhlu
Stupeň krytí	IP40 / IP67

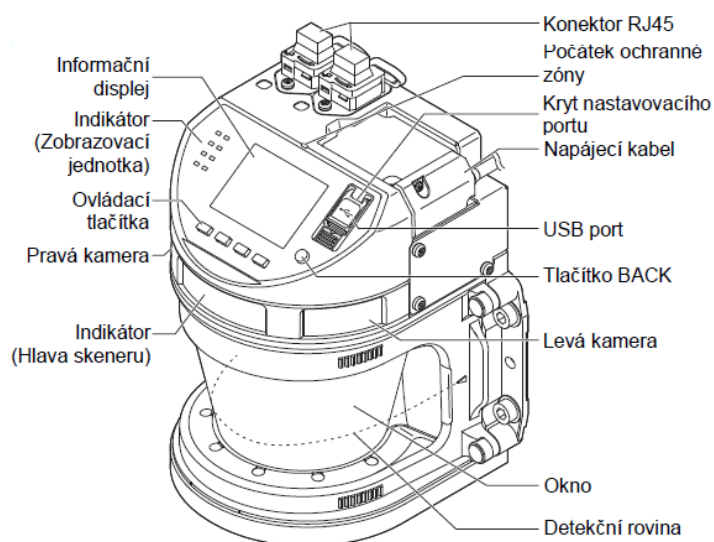
Řídicí ovladače	Kompaktní IRC5 / Jednoskríňový
Rozměry základny robotu	210 x 210 mm
Hmotnost	54 kg
Napájecí napětí, frekvence	200 – 600 V, 50 – 60 Hz
Velikost transformátoru	4,5 kV·A
Příkon	0,38 kW

Tabulka 2 Vlastnosti robotu IRB 1200 [33]

1 kg odebírací cyklus	
25 x 300 x 25 mm	0,42 s
Max. rychlost TCP	8,9 m/s
Max. zrychlení TCP	36 m/s <sup>2</sup>
Doba zrychlení 0 – 1 m/s	0,06 s

Tabulka 3 Výkon robotu IRB 1200 [33]

### 5.1.2 Skener SZ-V32N



Obr. 21 Popis senzoru SZ-V32N [34]



Obr. 22 Přední skener SZ-V32N [32]



Obr. 23 Zadní skener SZ-V32N [32]

Skenovací úhel	190°
USB port	USB 2.0
Ethernet – přenosová rychlost	100 Mb/s
Spotřeba energie	13.4 W (bez zatížení), 50.8 W (se zatížením)
Stupeň krytí	IP65 (IEC60529)
Provozní okolní teplota	-10 až +50 °C
Odolnost vůči vibracím	10 až 55 Hz
Hmotnost	2 300 g

Tabulka 4 Technické parametry skeneru SZ-V32N [34]

### 5.1.3 Řídicí jednotka IRC5



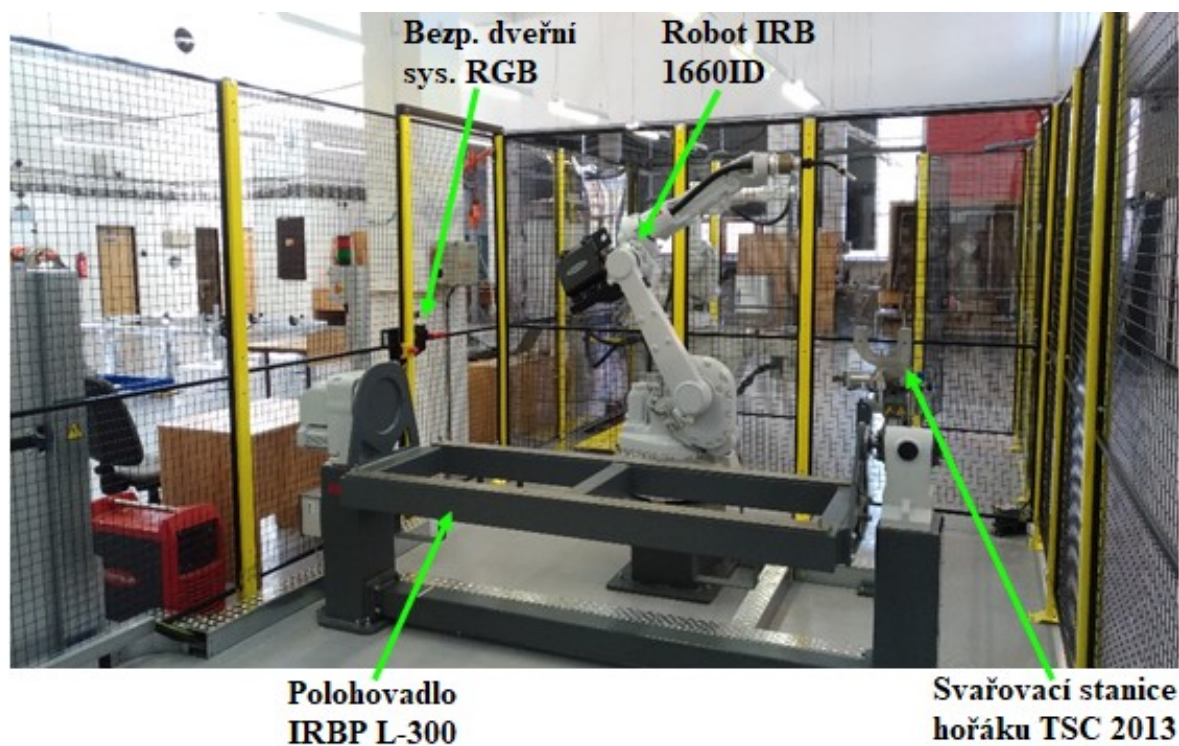
Obr. 24 Řídicí jednotka IRC5 [35]

Napájecí napětí, frekvence	200 – 600 V, 50 – 60 Hz
Rozměry	970 x 725 x 710 mm
Hmotnost	150 kg
Provozní okolní teplota	0 až +45 °C
Relativní vlhkost	max. 95 % (nekondenzující)
Stupeň krytí	IP54 (chladicí potrubí IP33)

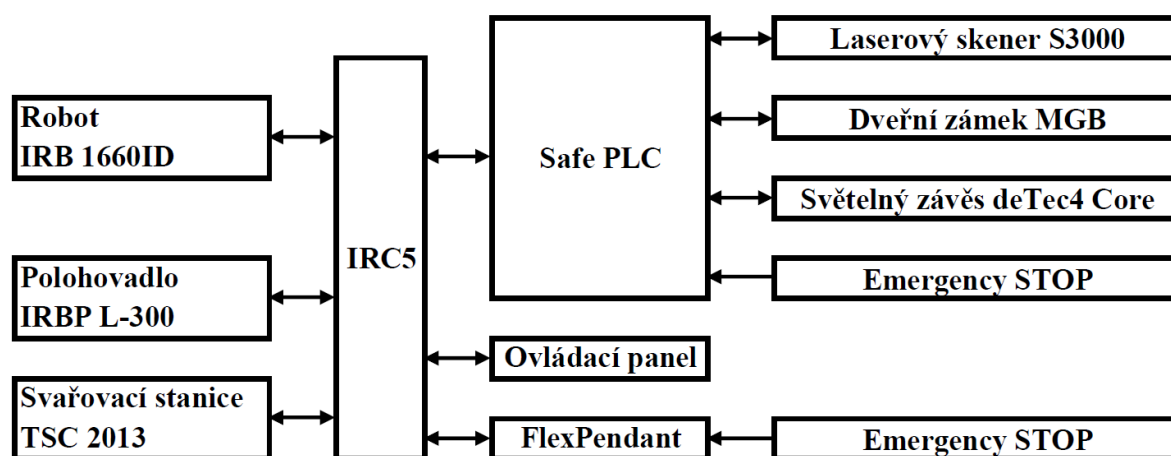
Tabulka 5 Technické parametry řídicí jednotky IRC5 [35]

## 5.2 Výukové a vývojové pracoviště svařování robotem

Výukové a vývojové pracoviště se nachází v Centru robotiky (stará menza) Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava. Tento typ robotizovaného pracoviště je vybaven svařovacím robotem IRB 1660ID od firmy ABB. K zabezpečení pracoviště se využívá bezpečnostní skener S3000 od firmy SICK a bezpečnostní světelný závěs deTec4 Core také od firmy SICK, jež zajišťuje bezpečnost z přístupové strany k robotu. Dalším ochranným prvkem je bezpečnostní oplocení se sloupy a montážními svorkami META 60x60 od firmy Alváris Profile Systems s.r.o. Pevné kryty obklopují robot ze tří stran, tvoří jej ocelové pletivo a plexisklo. Součástí oplocení jsou dveře s bezpečnostním dveřním systémem MGB od firmy Euchner. Vně pracoviště se nachází ovládací panel, na kterém je mimo další ovládací prvky také tlačítko pro nouzové zastavení stroje tzv. E-STOP. Uvnitř pracoviště je umístěno kromě robotu i polohovadlo IRBP L-300 od firmy ABB a svařovací stanice hořáku TSC 2013 rovněž od firmy ABB. Pro řízení robotu se využívá řídicí systém IRC5 firmy ABB, jehož součástí je FlexPendant. Na obrázku (Obr. 26) není vidět skener S3000 a bezpečnostní světelný závěs deTec4 Core, tyto bezpečnostní prvky jsou zachyceny na obrázcích (Obr. 29 a Obr. 30).



Obr. 26 Pracoviště svařovacího robotu [32]

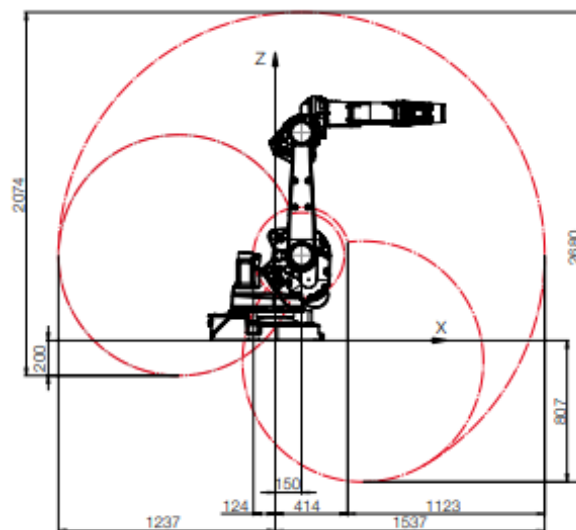


Obr. 25 Blokové schéma pracoviště robotu IRB 1660ID

### 5.2.1 Robot IRB 1660ID



Obr. 27 Robot IRB 1660 [36]



Obr. 28 Pracovní rozsah robotu IRB 1660 [36]

Verze robotu	Dosah	Nosnost	Zatížení ramene	Počet os
IRB 1660ID-4/1,55	1,55 m	6 kg	15 + 15 kg	6

Tabulka 6 Základní parametry robotu IRB 1660ID [36]

Napájecí napětí, frekvence	200 – 600 V, 50 – 60 Hz
Rozměry základny robotu	484 x 648 mm
Hmotnost	257 kg
Stupeň krytí	IP67 (pro osu 4 – IP40)
Upevnění robotu	horizontálně, se sklonem a v obrácené
Rozměry základny robotu	484 x 648 mm
Hmotnost	257 kg
Opakovatelnost pozice	0,02 mm
Napájecí napětí	200 – 600 V, 50 – 60 Hz
Příkon	0,62 kW
Provozní okolní teplota	+5 až +45 °C

Tabulka 7 Vlastnosti robotu IRB 1660ID [36]



### 5.2.2 Skener S3000



Obr. 29 Skener S3000 [32]

Verze modelu	S30A-4011BA
Skenovací úhel	190°
Stupeň krytí	IP65 (EN 60529)
Spotřeba energie	14 W
Provozní okolní teplota	-10 až +50 °C
Rozměry	155 x 185 x 160 mm
Hmotnost	3 300 g
Odolnost vůči vibracím	10 až 150 Hz

Tabulka 8 Technické parametry skeneru S3000 [37]

### 5.2.3 Bezpečnostní světelný závěs deTec4 Core



Obr. 30 Bezpečnostní světelný závěs deTec4 Core [32]

Bezpečnostní světelný závěs je na pracovišti umístěn vertikálně.

Vysílač	C4C-EA15030A10000
Přijímač	C4C-SA15030A10000



Výška ochranného pole	1 500 mm
Rozlišení	30 mm
Doba odezvy	0,013 s
Stupeň krytí	IP65 (EN 60529), IP67 (EN 60529)
Rozsah ochranného pole	0 až 15 m

Tabulka 9 Technické parametry světelného závěsu deTec4 Core [38]

#### 5.2.4 Bezpečnostní dveřní systém MGB



Obr. 31 Bezpečnostní dveřní systém MGB [32]



Obr. 32 Ovládací panel [32]

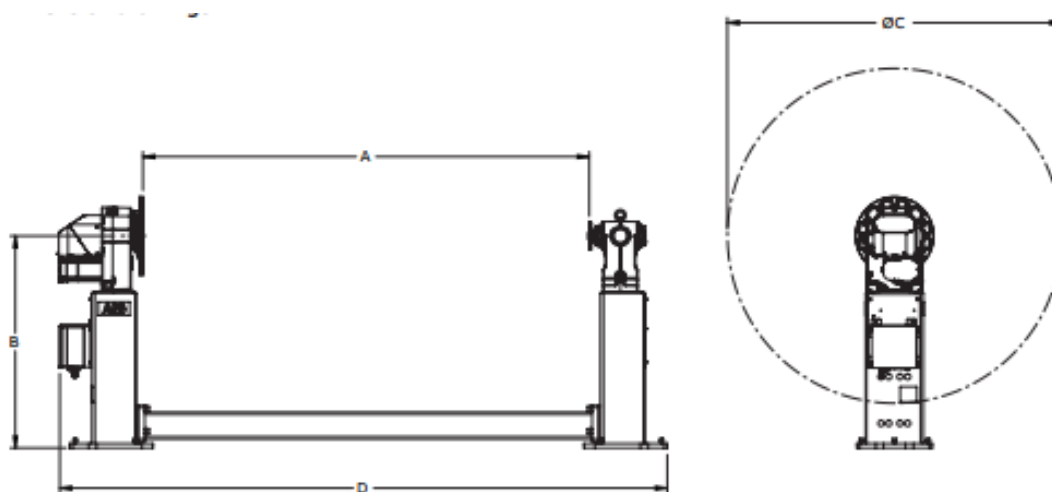
Možnosti upevnění systému	posuvné dveře, dveře na pantech
Technologie kódování transpondérů	RFID
Nepřesnost seřízení dveří	$\pm 4$ mm v horizontálním směru
	$\pm 5$ mm ve vertikálním směru
Klika	venkovní, vnitřní (nouzová)
Síťové rozhraní	Profinet
Bezpečnostní systém	PLe/kat.4
Maximální blokovací síla	2.000 N
odolává nárazu s energií	300 J

Tabulka 10 Technické parametry bezpečnostního dveřního systému MGB [6]

### 5.2.5 Polohovadlo IRBP L-300



Obr. 33 Polohovadla IRBP L-300 [39]



Obr. 34 Rozměry polohovadla IRBP L-300 [39]

A	B	Ø C	D
1250 mm	950 mm	1500 mm	1979 mm

Tabulka 11 Rozměry polohovadla IRBP L-300 [39]

Manipulační hmotnost	300 kg
Maximální točivý moment	350 N·m
Maximální ohybový moment	600 N·m
Maximální rychlost otáčení	180°/s

Tabulka 12 Technické parametry polohovadla IRBP L-300 [39]

### 5.2.6 Svařovací stanice hořáku TSC 2013



Obr. 35 Svařovací stanice hořáku TSC 2013 [40]

TSC 2013 je mechanický systém čištění hořáku s modulární designem a tvoří ho:

- čistič hořáku TC 2013 (čištění plynové trysky),
- systém pro měření a kalibraci středu nástroje,
- štípačky (max. průměr ocelového nebo hliníkového štípaného drátu 1,2 mm),
- injekce uvolňovacího činidla. [40]

Hmotnost	30 kg
Řídicí napětí	24 V, DC
Stlačený vzduch	3,175 mm (1/8 inch), minimálně 6 bar
Řídicí systém	IRC5 s RobotWare 5.15.05

Tabulka 13 Technické parametry čističe hořáku TC 2013 [40]

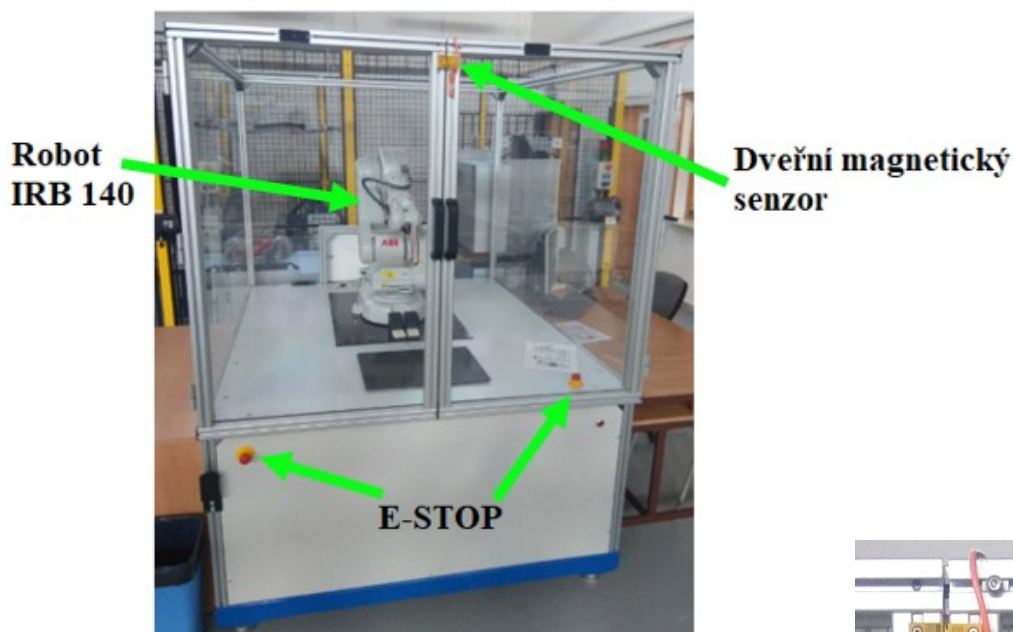
### 5.2.7 Řídicí jednotka IRC5

Popis a technické parametry této řídicí jednotky jsou výše uvedeny v tabulce (Tabulka 5) a na obrázku (Obr. 24).

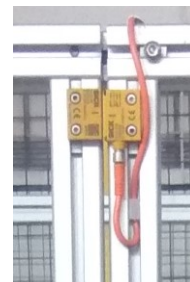
## 5.3 Výukové a vývojové pracoviště robotu IRB 140

Další robotizované pracoviště popisované v mé práci se také nachází v Centru robotiky (stará menza) Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava. Robotizované pracoviště je vybaveno robotem IRB 140 od firmy ABB. Pracovní prostor robotu je zabezpečen pevným ochranným krytem – bezpečnostním boxem z ocelového rámu a plexiskla. Pracoviště je tímto bezpečnostním prvkem chráněno ze všech stran, kromě horní.

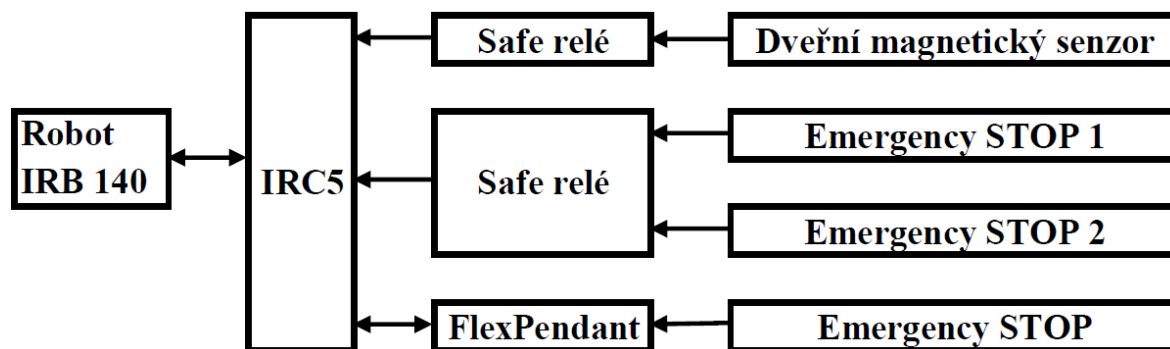
Pro vstup do prostoru robotu musí obsluha otevřít dveře boxu, které jsou vybaveny dveřním magnetickým senzorem. Vně i uvnitř pracoviště se nachází tlačítko pro nouzové zastavení stroje tzv. E-STOP. Pro řízení robotu se využívá řídicí systém IRC5 od firmy ABB, jehož součástí je FlexPendant.



Obr. 37 Pracoviště robotu IRB 140 [32]



Obr. 38 Dveřní magnetický senzor [32]

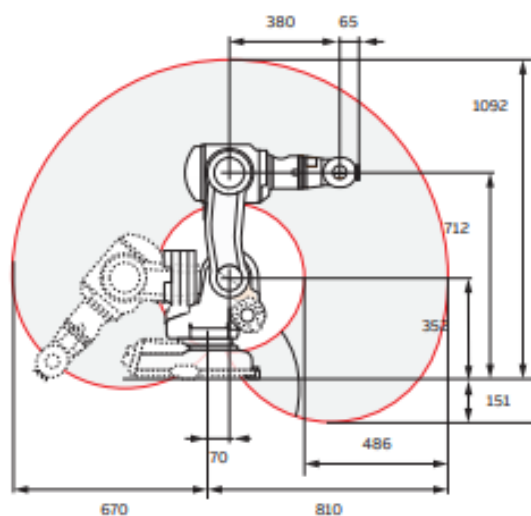


Obr. 36 Blokové schéma pracoviště robotu IRB 140

### 5.3.1 Robot IRB 140



Obr. 39 Robot IRB 140 [41]



Obr. 40 Pracovní rozsah robotu IRB 140 [41]

Verze robotu	Dosah	Nosnost	Zatížení nosného ramene	Počet os
IRB 140-6/08	800 mm	6 kg	1 kg	6

Tabulka 14 Základní parametry robotu IRB 140 [41]

Integrované napájení signálu	12 signálů v kloubu
Integrovaný přívod vzduchu	maximálně 8 bar
Provozní okolní teplota (během provozu)	+5 až +45 °C
Upevnění robotu	v jakémkoli úhlu
Stupeň krytí	IP67
Řídicí ovladače	IRC5
Rozměry základny robotu	400 x 450 mm
Hmotnost	98 kg
Napájecí napětí, frekvence	200 – 600 V, 50 – 60 Hz
Velikost transformátoru	4,5 kVA
Příkon	0,4 kW

Tabulka 15 Vlastnosti robotu IRB 140 [41]

5 kg odebírací cyklus	
25 x 300 x 25 mm	0,85 s
Max. rychlost TCP	2,5 m/s
Max. zrychlení TCP	25 m/s <sup>2</sup>
Doba zrychlení 0-1 m/s	0,15 s
Opakovatelnost pozice	0,03 mm

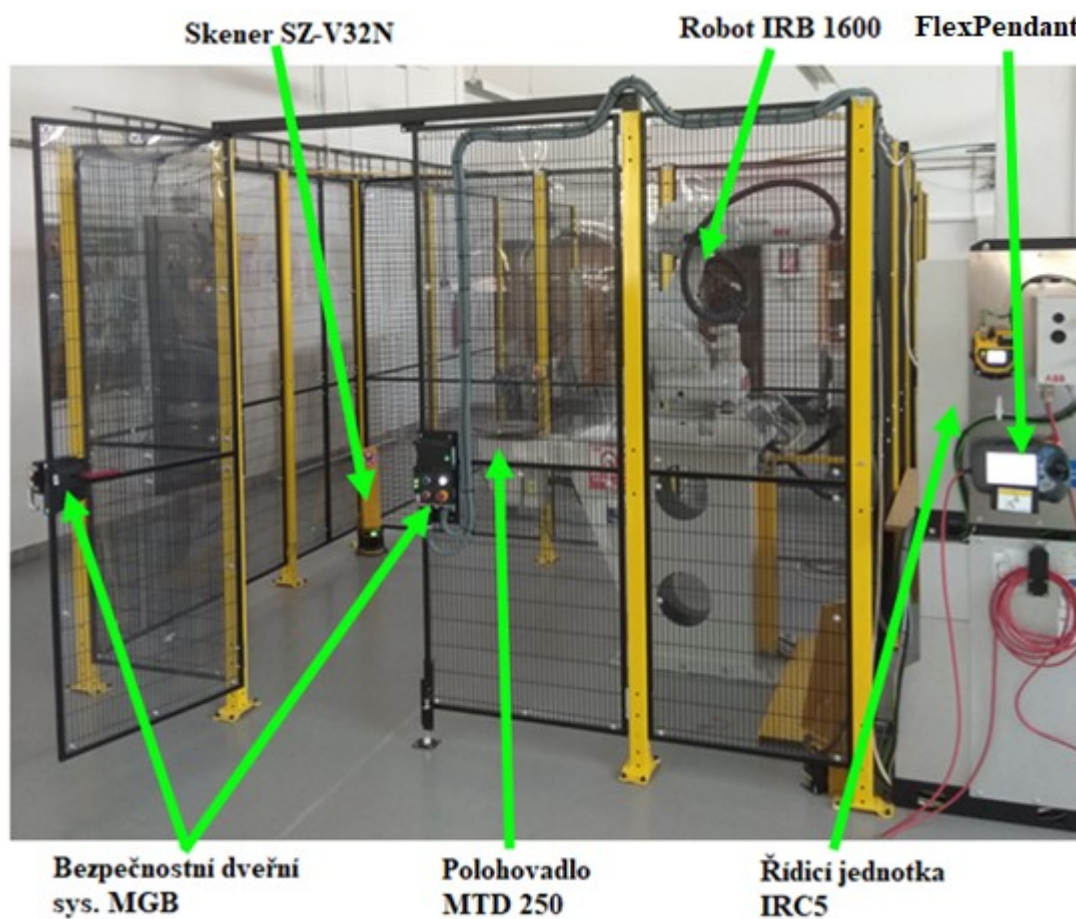
Tabulka 16 Výkon robotu IRB 140 [41]

### 5.3.2 Řídicí jednotka IRC5

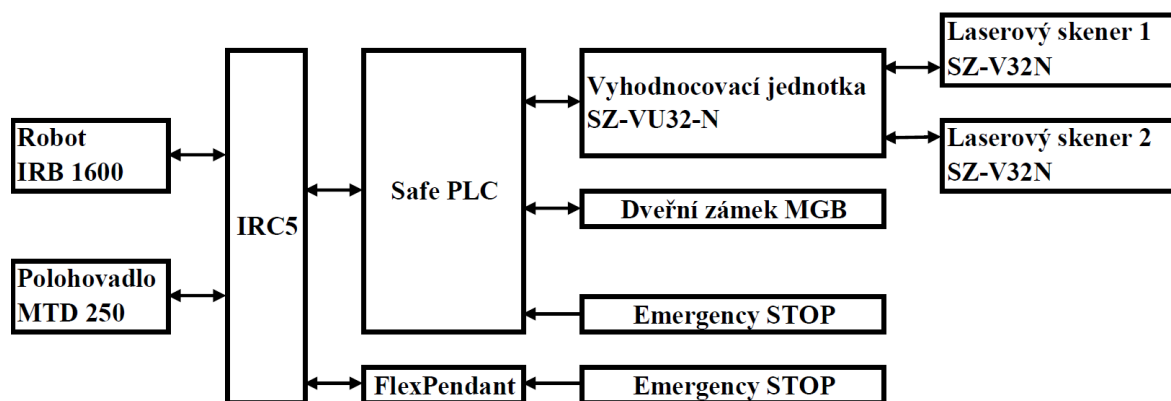
Popis a technické parametry této řídicí jednotky jsou uvedeny výše v tabulce (Tabulka 5) a na obrázku (Obr. 24).

## 5.4 Výukové a vývojové pracoviště třískového obrábění robotem

Popisované pracoviště se nachází v Centru robotiky (stará menza) Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava. Tento typ robotizovaného pracoviště je vybaven svařovacím robotem IRB 1600 od firmy ABB. K zabezpečení pracoviště se využívají dva skenery SZ-V32N od firmy Keyence. Dalším ochranným prvkem je bezpečnostní oplocení se sloupy a montážními svorkami META 60x60 od firmy Alváris Profile Systems s.r.o., které tvoří ocelové pletivo a plexisklo. Oplocení obklopuje robot ze všech bočních stran. Součástí pevného krytu jsou dveře s bezpečnostním dveřním systémem MGB od firmy Euchner. Dveřní systém je také vybaven tlačítkem pro nouzové zastavení stroje tzv. E-STOP. Uvnitř pracoviště se nachází kromě robotu také polohovadlo MTD 250 od firmy ABB. Pro řízení robotu se využívá řídicí systém IRC5 od firmy ABB, jehož součástí je FlexPendant s možností manuálního ovládání robotu.



Obr. 41 Pracoviště robotu IRB 1600 [32]

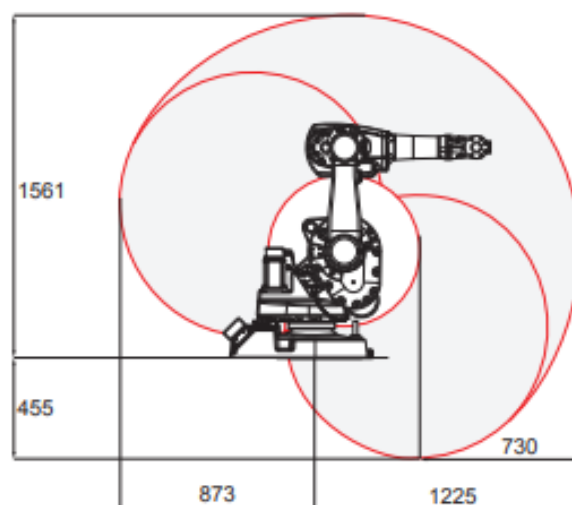


Obr. 42 Blokové schéma pracoviště robotu IRB 1600

### 5.4.1 Robot IRB 1600



Obr. 43 Robot IRB 1600 [42]



Obr. 44 Pracovní rozsah robotu IRB 1600 [42]

Verze	Dosah	Nosnost	Zatížení nosného ramene	Počet os
IRB 1600-	1 200 mm	10 kg	20,5 kg	6+3 externí

Tabulka 17 Základní parametry robotu IRB 1600 [42]

Integrované napájení signálu	12 signálů v kloubu
Provozní okolní teplota	+5 až +45 °C
Upevnění robotu	v jakémkoli úhlu
Stupeň krytí	IP54
Řídicí ovladače	IRC5
Rozměry základny robotu	484 x 648 mm
Hmotnost	250 kg
Napájecí napětí, frekvence	200 – 600 V, 50 – 60 Hz
Příkon	0,58 kW
Opakovatelnost pozice	0,02 mm
Opakovatelnost trasy	0,06 mm

Tabulka 18 Vlastnosti robotu IRB 1600 [42]



### 5.4.2 Polohovadlo MTD 250



Obr. 45 Polohovadla MTD 250 [32]

Manipulační hmotnost	300 kg
Maximální točivý moment	350 N·m
Maximální ohybový moment	650 N·m
Maximální rychlost otáčení	180 °/s
Přesnost opakování se stejným zatížením a poloměrem	± 0.05 mm
Čas zastavení při použití E-STOP	< 0.5 s
Stupeň krytí	IP65
Hmotnost	70 kg

Tabulka 19 Technické parametry polohovadla MTD 250 [43]

### 5.4.3 Skener SZ-V32N

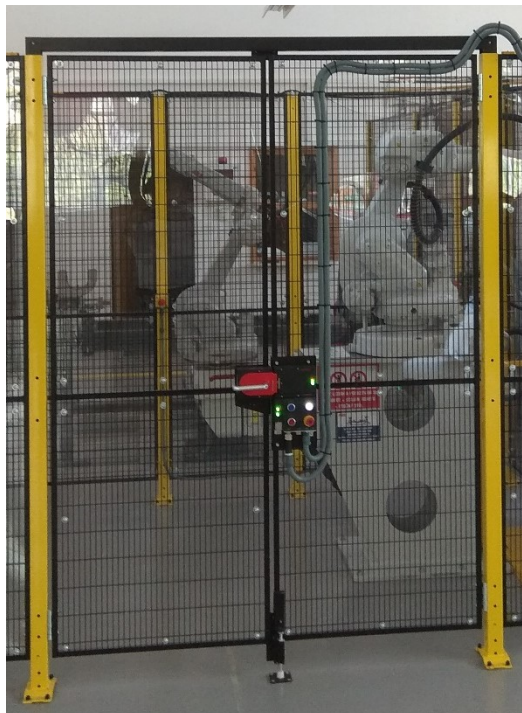
Popis a technické parametry tohoto skeneru jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 4) a na obrázku (Obr. 21).

### 5.4.4 Řídicí jednotka IRC5

Popis a technické parametry této řídicí jednotky jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 5) a na obrázku (Obr. 24).

### 5.4.5 Bezpečnostní dveřní systém MGB

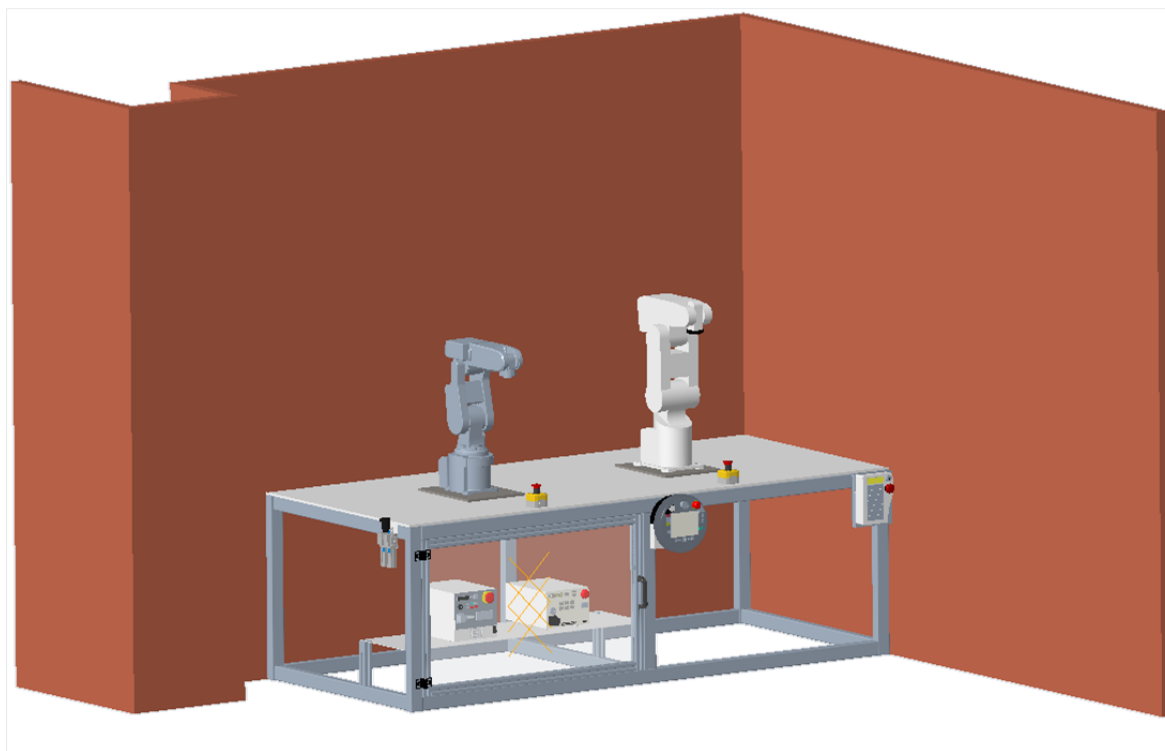
Popis a technické parametry tohoto bezpečnostního dveřního systému jsou uvedeny v kapitole 5.2.4.



Obr. 46 Bezpečnostní dveřní systémem MGB s oplocením [32]

## 6 Návrh zabezpečení robotizovaného pracoviště

Dle zadání práce jsem navrhl zabezpečení zvoleného robotizovaného pracoviště. Po dohodě s vedoucím mé bakalářské práce prof. Dr. Ing. Petrem Novákem jsem použil jako modelové robotizované pracoviště návrh pracoviště, jež ve své bakalářské práci popisuje kolega z ročníku Jiří Klus.



Obr. 47 Pracoviště dvou robotů Mitsubishi

Modelové robotizované pracoviště je vybaveno dvěma roboty RV-1A a RV-2SD Mitsubishi. Roboty na tomto pracovišti jsou určeny ke vzájemné spolupráci a umožňují pohyb v šesti osách. Pracovní deska stolu, řídicí jednotky i Teach pendanty jsou vybaveny tlačítky nouzového zastavení (E-STOP). Rozsah pohybu robotu RV-1A od středu základny je v horizontální ose 418 mm a dosah ve vertikální ose od desky stolu, na které je základna robotu upevněna, činí 726 mm. Rozsah pohybu robotu RV-2SD od středu základny je v horizontální ose 505 mm a dosah ve vertikální ose od desky stolu, na níž je základna robotu upevněna, činí 800 mm. Vzdálenost středu základny robotů od přední hrany stolu musí být z důvodu bezpečnosti minimálně 302 mm a z levé strany stolu 450 mm. Nosnost robotů činí 1 a 2 kg a hmotnost každého robotu je 19 kg. Robotizované pracoviště by mělo být umístěno v Centru robotiky Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava.

V rámci vzorové pracovní úlohy by jeden robot uchopil předem definovaný objekt manipulace (např. kostku), přenesl jej do prostoru mezi roboty, druhý robot by si objekt manipulace od něj převzal a přemístil ho na předem definované místo.

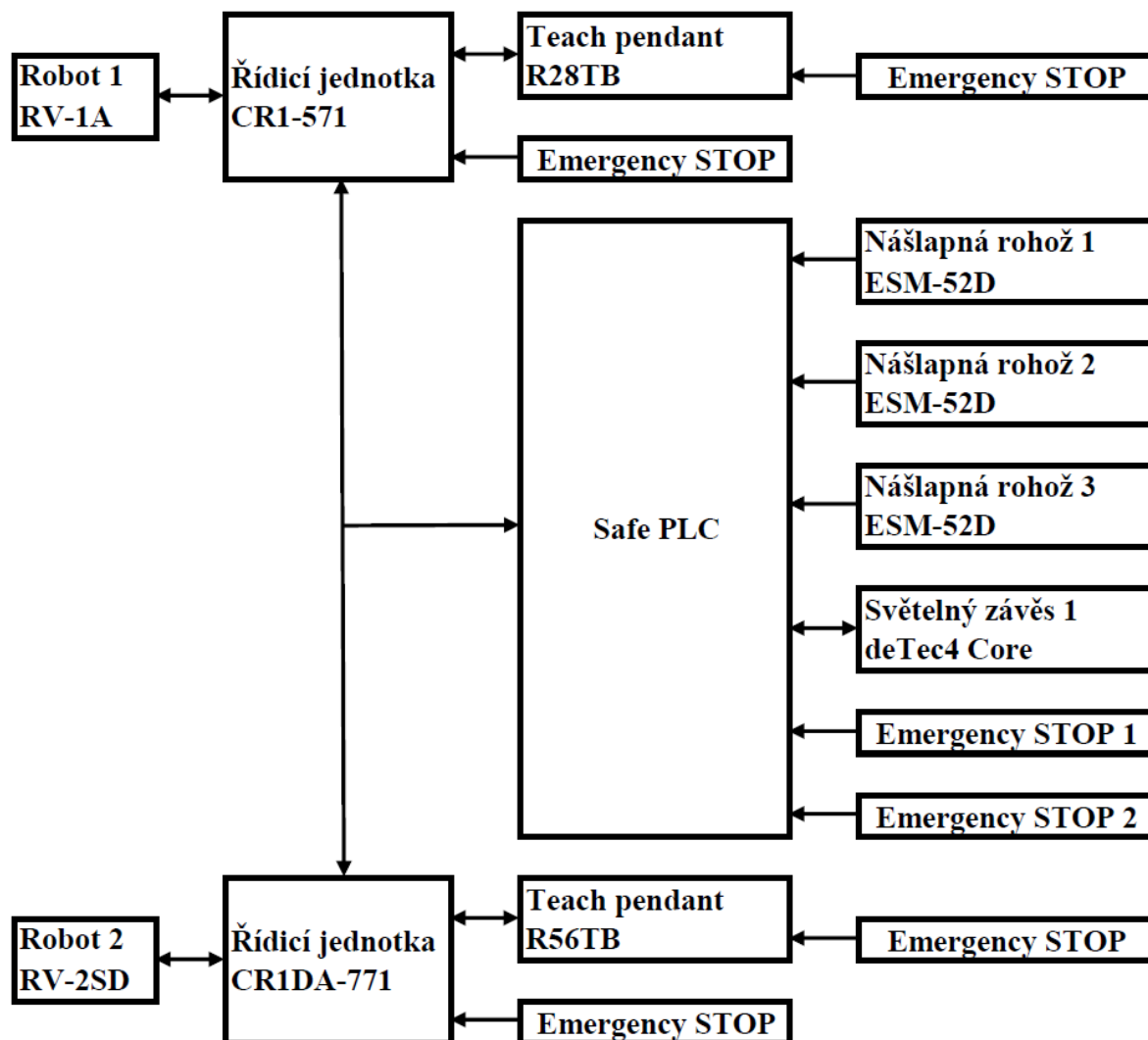
Pracoviště je umístěno v rohu výklenku místnosti, viz obrázek (Obr. 48). Zabezpečení bylo nutno navrhnout z čelní a levé strany pracoviště, protože z ostatních stran chrání pracoviště zeď místnosti. Vzhledem k tomu, že v návrhu pracoviště kolegy nebyly (v době, kdy mi podklady k pracovišti poskytl) uvedeny přesné rozměry pracovního stolu, stanovil jsem si velikost stolu sám s přihlédnutím k rozsahu pohybu robotu. Délku stolu jsem zvolil 2 500 mm, šířku stolu 1 000 mm a výšku stolu 850 mm. Rozměry pracoviště viz obrázek (Obr. 48).

Vzhledem ke zvažované možnosti pohybu robotů na pracovní desce stolu a jejich hybnosti v šesti osách jsem navrhl hranici zabezpečeného prostoru dále od pracovního stolu, na němž jsou roboty umístěny. Dalším důvodem pro volbu mého návrhu byl snadný přístup k celému pracovišti ve chvíli, kdy jsou roboty zastaveny. Práci obsluhy pracoviště by tedy nekomplikovalo či nezpomalovalo např. otevírání a zavírání dveří v případě použití zabezpečení pevnými ochrannými kryty umístěnými z obou stran.

Navrhl jsem zabezpečení pracoviště s využitím nášlapných rohoží, světelného závěsu a pevného ochranného krytu z levé strany pracovního stolu. Nášlapné rohože a světelný závěs by zajišťovaly bezpečnost v prostoru 1 600 mm z přední strany pracovního stolu (podrobněji viz kapitola 6.1), která je volně přístupná. Prostor z levé strany stolu by byl zajištěn bezpečnostním oplocením tvořeným dvěma panely (výška 2 200 mm) z ocelového pletiva a plexiskla umístěnými mezi třemi pevnými sloupy (výška 2 320 mm) přišroubovanými k podlaze. Využití plexiskla společně s pletivem jsem považoval za nezbytné na panelu umístěném v bezprostřední blízkosti u pracovní desky stolu, druhý panel vzdálenější od stolu by byl pouze z ocelového pletiva. Světelné závěsy by tvořily vnější hranici zabezpečeného prostoru a byly by tedy umístěny na vnějším okraji nášlapných rohoží. Z důvodu usnadnění nájezdu na rohože bude instalována náběžná lišta. Viz obrázek (Obr. 48). Světelný závěs by byl instalován na podlaze a dosahoval do výšky ochranného pole 1 800 mm.

Ve své práci jsem nezohledňoval finanční náročnost zabezpečení. Přesto, i kdyby byl tento typ bezpečnostních prvků finančně náročnější, jeho výhodou by měl být snazší pohyb obsluhy robotů s velmi dobrou úrovní bezpečnosti a ochrany zdraví na pracovišti. Náhled pracoviště včetně zabezpečení viz obrázek (Obr. 50).





Obr. 49 Blokové schéma pracoviště robotů Mitsubishi

### 6.1 Výpočet bezpečné vzdálenosti

Ve svém návrhu zabezpečení pracoviště jsem vycházel z norem pro bezpečnost strojních zařízení.

Umístění pevného ochranného krytu v bezprostřední blízkosti levé strany pracovní desky stolu je možné při použití panelu o výšce 2 200 mm. Výšku panelu jsem zvolil dle normy ČSN EN ISO 13857 „*Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami*“. [2]

Normou jsou také stanoveny minimální vzdálenosti od vnější hranice chráněného prostoru k pracovnímu prostoru robotů při využití světelného závěsu. Vychází z normy ČSN EN ISO 13855 „*Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla*“. [2]

Výpočet bezpečné vzdálenosti:

$S \rightarrow$  minimální bezpečná vzdálenost mezi strojem a bezpečnostním světelným závěsem, [mm]; podmínka  $S \geq 100$  mm

$K \rightarrow$  parametr určený normou na základě přístupové rychlosti těla (osoby), [mm/s];  
 $K = 2\,000$  mm/s; pokud je hodnota  $S > 500$  použijeme  $K = 1\,600$  mm/s

$T \rightarrow$  čas potřebný pro zastavení celého systému zařízení, [s]

$t_1 \rightarrow$  maximální doba odezvy bezpečnostního světelného závěsu deTec4 Core, [s];  
 $t_1 = 0,013$  s

$t_2 \rightarrow$  maximální doba potřebná k zastavení stroje – robotů RV-1A a RV-2SD, [s];  
 $t_2 = 0,78$  s

$C \rightarrow$  dodatečná vzdálenost daná rozlišením optoelektrického ochranného zařízení, [mm]

$d \rightarrow$  rozlišení bezpečnostního světelného závěsu deTec4 Core, [mm];  
 $d = 30$  mm; pokud  $d \leq 40$  vycházíme ze vztahu  $C = 8 \cdot (d - 14)$

$$T = t_1 + t_2 = 0,013 + 0,78 = 0,793 \text{ mm} \quad (1)$$

$$C = 8 \cdot (d - 14) = 8 \cdot (30 - 14) = 128 \text{ mm} \quad (2)$$

$$S = K \cdot T + C = 2000 \cdot 0,793 + 128 = 1\,714 \text{ mm} \rightarrow 1\,714 > 500 \quad (3)$$

$$S > 500 \rightarrow K = 1600 \text{ mm/s}$$

$$S = K \cdot T + C = 1600 \cdot 0,793 + 128 = 1\,396,8 \text{ mm} \quad (4)$$

Na základě výpočtů je nezbytná minimální povolená vzdálenost světelného závěsu od pracovního prostoru robotů Mitsubishi 1 396,8 mm.

Vzhledem k typizovaným rozměrům bezpečnostních rohoží jsem zvolil umístění bezpečnostního světelného závěsu i celého zabezpečeného pole ve vyšší vzdálenosti od pracovního prostoru robotů 1 600 mm. Viz obrázek (Obr. 48). S přihlédnutím k rozsahu pohybu robotů, výše uvedenému výpočtu (4) a vzdálenosti světelného závěsu a pevného oplocení od pracovní desky stolu je nutno pro umístění robotů dodržet minimální vzdálenost 302 mm od přední hrany a 450 mm od levé hrany stolu.

## 6.2 Bezpečnostní prvky na pracovišti

### 6.2.1 Bezpečnostní světelný závěs deTec4 Core

Na pracovišti jsem navrhl bezpečnostní světelný závěs deTec4 Core od firmy SICK.

Vysílač	C4C-EA18030A10000
Přijímač	C4C-SA18030A10000
Výška ochranného pole	1 800 mm
Rozlišení	30 mm
Doba odezvy	0,013 s
Stupeň krytí	IP65 (EN 60529), IP67 (EN 60529)
Rozsah ochranného pole	0 až 15 m

Tabulka 20 Technické parametry světelného závěsu deTec4 Core [38]

### 6.2.2 Nášlapná rohož

Nášlapná rohož 1 600 x 1 000 mm od firmy AXIMA, spol. s r. o. – na pracovišti by byl umístěn jeden kus.

Typ	ESM-52D
Šířka	1 600 mm
Hloubka	1 000 mm
Výška	14,1 mm
Materiál	pryž

Tabulka 21 Technické parametry nášlapné rohože 1 600 x 1 000 [44]

Nášlapná rohož 1 600 x 750 mm od firmy AXIMA, spol. s r. o. – na pracovišti by byly instalovány dva kusy.

Typ	ESM-52D
Šířka	1 600 mm
Hloubka	750 mm
Výška	14,1 mm
Materiál	pryž

Tabulka 22 Technické parametry nášlapné rohože 1 600 x 750 [45]



### 6.2.3 Náběžná lišta

Náběžná lišta pro bezpečnostní nášlapné rohože od firmy AXIMA, spol. s r. o.

Typ	ES-RR
Délka	2 500 mm
Materiál	hliník

Tabulka 23 Technické parametry náběžné lišty [46]

### 6.2.4 Bezpečnostní oplocení

Sloup Meta s navařenou patkou – tyto sloupky bývají používány pro bezpečnostní oplocení od firmy Alváris Profile Systems, s.r.o. Na pracovišti byly použity tři sloupky přišroubovány k podlaze.

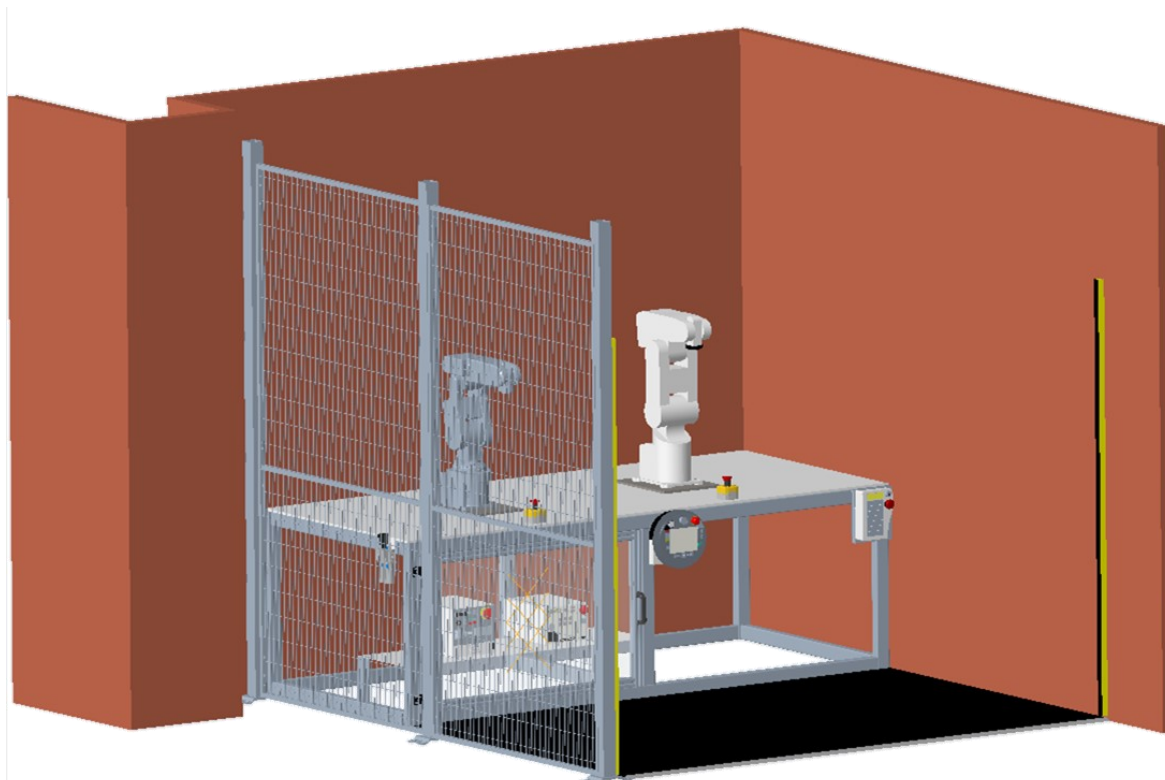
Typ	AMM6000007U0000
Výška sloupu	2 320 mm
Profil	60 x 60 mm
Upevnění sloupu k podlaze	4 x šroub M8
Materiál	ocel

Tabulka 24 Technické parametry sloupu bezpečnostního oplocení [47]

Panel Penta tvoří hlavní část bezpečnostního oplocení od firmy Alváris Profile Systems, s.r.o. Na pracovišti byly použity dva panely, jeden tvořen pletivem s plexisklem a druhý tvořen pouze pletivem.

Typ	AN00000000Y0000
Výška panelu	2 200 mm
Šířka panelu	1 200 mm
Rám panelu	20 x 20 mm
Průměr drátu	3 mm
Velikost oka pletiva	20 x 100 mm
Materiál	ocel

Tabulka 25 Technické parametry panelu bezpečnostního oplocení [48]



Obr. 50 Pracoviště dvou robotů Mitsubishi se zabezpečením

## 7 Závěr

Zabezpečovací systémy pro robotizovaná pracoviště jsou velmi důležitým tématem v dynamicky se rozvíjející průmyslové automatizaci. Využití robotů bude ve stále větší míře součástí nejen výrobního procesu, ale i běžného života. Vždy je však nutné myslet na zdraví člověka, jež s robotem přijde do kontaktu a zajistit jeho bezpečnost.

Cílem mé bakalářské práce bylo provedení rešerší dostupných podkladů k problematice zabezpečení průmyslových robotů. Součástí zadání byla analýza aktuálně používaných bezpečnostních systémů pro robotizovaná pracoviště. Dalším cílem práce byl vlastní návrh vhodného způsobu zabezpečení zvoleného modelového robotizovaného pracoviště.

Zmapoval jsem legislativu, která se zabývá bezpečností robotizovaných pracovišť. Zabezpečovací systémy využívané v praxi jsem podle jednotlivých typů podrobněji analyzoval a popsal ve druhé kapitole. Vypracoval jsem rešerše několika bakalářských prací, diplomových prací a textů (publikovaných v odborných časopisech) s obdobnou problematikou.

Pro další část své bakalářské práce jsem vybral čtyři robotizovaná pracoviště, s nimiž jsem se v rámci výuky seznámil v Centru robotiky Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava. Zaměřil jsem se na podrobný popis jejich bezpečnostních prvků a všech zařízení nacházejících se na pracovištích včetně technických specifikací.

V poslední kapitole jsem navrhl zabezpečení pro zvolené modelové robotizované pracoviště dvou robotů Mitsubishi. Po dohodě s vedoucím bakalářské práce prof. Dr. Ing. Petrem Novákem jsem zpracoval návrh zabezpečení pracoviště, jež ve své bakalářské práci popisuje kolega z ročníku Jiří Klus.

V návrhu zabezpečovacích prvků pro toto pracoviště jsem chtěl použít jiný typ zabezpečení než takové, jimiž se zabýval kolega. Při výběru bezpečnostních prvků jsem preferoval varianty se snadnějším přístupem k robotům, to znamená, nechtěl jsem využít pevné ochranné kryty ze všech stran pracoviště. Dalším mým kritériem pro volbu bezpečnostních prvků bylo praktické využití pracoviště v Centru robotiky (Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava) k výukovým účelům. Na tomto pracovišti by se studenti mohli v praxi seznámit s nášlapnou rohoží, která se dosud na jiném pracovišti nenachází. Zvolil jsem tedy zabezpečení pomocí nášlapných rohoží, světelného závěsu a bezpečnostního oplocení. Tuto kombinaci bezpečnostních prvků považuji na základě zkušeností získaných při vypracování této práce za dostatečně efektivní a z hlediska ochrany zdraví člověka důležité.

Při výběru tématu bakalářské práce mě problematika zabezpečovacích systémů robotizovaných pracovišť zaujala. Nyní s odstupem času po dokončení práce hodnotím zvolené téma kladně, neboť jsem se s možnostmi zabezpečovacích systémů na robotizovaných pracovištích podrobněji seznámil a více se v nich zorientoval.

U vlastního návrhu zabezpečení pracoviště jsem z důvodu minimalizace rizik pro obsluhu pak mohl lépe vyhodnotit klady a zápory jednotlivých typů zabezpečení.

Za velmi přínosné považuji možnost praktického seznámení se s roboty na jejich robotizovaných pracovištích včetně zabezpečovacích systémů. Přestože má práce je převážně teoretická, při zpracovávání tohoto tématu mi velmi pomohlo, že jsem měl možnost téměř všechny typy bezpečnostních prvků vidět v provozu v Centru robotiky Katedry robotiky, Fakulty strojní, VŠB – TU Ostrava.

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu prof. Dr. Ing. Petru Novákovi za rady, věcné připomínky a doporučení, které mi pomohly při vypracovávání této bakalářské práce.

Také děkuji panu Ing. Michalu Vocetkovi za ochotu, konzultace a poskytnuté informace k robotizovaným pracovištím z Centra robotiky.

Děkuji kolegovi Jiřímu Klusovi za spolupráci a poskytnuté informace k modelovému robotizovanému pracovišti.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] SICK. Bezpečné stroje: V šesti krocích k bezpečnému stroji. 2008.
- [2] Technické normy - ČSN normy | [www.technickenormy.cz](http://www.technickenormy.cz). *Technické normy - ČSN normy* | [www.technickenormy.cz](http://www.technickenormy.cz) [online]. Copyright © 2000 [cit. 09.01.2020]. Dostupné z: <https://www.technickenormy.cz/>
- [3] 301 Moved Permanently. *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © T [cit. 24.02.2020]. Dostupné z: [http://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story\\_automat/11108/emergency\\_stop\\_button-small.jpg](http://automatizace.hw.cz/files/styles/full/public/story_automat/11108/emergency_stop_button-small.jpg)
- [4] Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závoryami | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Copyright © 1997 [cit. 24.02.2020]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>
- [5] Nouzové zastavení stroje. Volba a použití tlačítek E-STOP | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Copyright © 1997 [cit. 19.02.2020]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-komponenty/nouzove-zastaveni-stroje-volba-a-pouziti-e-stop-tlacitek.html>
- [6] Dveřní systém MGB-Profinet « Euchner. *Euchner* [online]. Copyright © 2019 Euchner Electric s.r.o. [cit. 03.04.2020]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-systemy/mgb-pn/>
- [7] 301 Moved Permanently. *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © [cit. 03.04.2020]. Dostupné z: [http://www.ferier.cz/wp-content/uploads/qc-1\\_300dpi\\_web.png](http://www.ferier.cz/wp-content/uploads/qc-1_300dpi_web.png)
- [8] Bezpečnostní a ochranná oplocení | Haberkorn. *Váš partner pro stavbu strojů | Haberkorn* [online]. Copyright © Haberkorn s.r.o. [cit. 12.05.2020]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/ochranna-oploceni/>
- [9] Baláková, Marie. *Bezpečnostní systémy pro pracoviště s průmyslovými roboty* [online]. Brno, 2015 [cit. 19.02.2020]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Ing. Aleš Pochylý. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=102421](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102421)
- [10] Object moved. *403 - Forbidden: Access is denied.* [online]. Copyright © [cit. 19.02.2020]. Dostupné z: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106930A4207&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [11] SafeMove 2 - IRC5 Options (IRC5 Controller) | ABB. *ABB Group - Leading digital technologies for industry* [online]. Copyright © Copyright 2020 ABB [cit. 19.02.2020]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5/irc5-options/safemove-2>
- [12] KUKA.SafeOperation | KUKA AG. *industrial intelligence 4.0\_beyond automation | KUKA AG* [online]. Copyright © KUKA AG 2020 [cit. 24.02.2020]. Dostupné z: [https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/software/prov%C3%A1zan%C3%A9-technologie/kuka\\_safeoperation](https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/software/prov%C3%A1zan%C3%A9-technologie/kuka_safeoperation)

- [13] Virtual fence. *DENSO Robotics Europe is a market leader in small industrial robots. The product range include SCARA, 6-axis robots, collaborative robots, pharmaceutical robots* [online]. Copyright © 2018 DENSO Robotics Incorporated [cit. 24.02.2020]. Dostupné z: <https://www.densorobotics-europe.com/product-overview/products/robotics-functions/virtual-fence>
- [14] *Komponenty pro automatizaci a elektroinstalace* | SCHMACHTL CZ [online]. Copyright © [cit. 24.02.2020]. Dostupné z: [https://www.schmachtl.cz/web\\_get\\_img\\_data?aID=1640906](https://www.schmachtl.cz/web_get_img_data?aID=1640906)
- [15] Bezpečnostní PLC programované bez PC = Sick Flexi Classic | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Copyright © 1997 [cit. 24.02.2020]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/plc-a-prumyslova-pc-bezpecnost-stroju-komponenty/bezpecnostni-plc-programovane-bez-pc-sick-flexi-classic.html>
- [16] Bezpečnostní programovatelné PLC | SCHMACHTL CZ. *Komponenty pro automatizaci a elektroinstalace* | SCHMACHTL CZ [online]. Copyright © COPYRIGHT [cit. 19.02.2020]. Dostupné z: [https://www.schmachtl.cz/bezpecnostni-plc#/p\\_sf:CENA&p\\_sd:ASC&p\\_p:1](https://www.schmachtl.cz/bezpecnostni-plc#/p_sf:CENA&p_sd:ASC&p_p:1)
- [17] [online]. Copyright © [cit. 19.02.2020]. Dostupné z: [https://media.rs-online.com/t\\_large/R7845800-01.jpg](https://media.rs-online.com/t_large/R7845800-01.jpg)
- [18] Bezpečnostní relé | Eaton Elektrotechnika s.r.o.. [online]. Copyright © Eaton Elektrotechnika s.r.o. Všechna práva vyhrazena [cit. 03.04.2020]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/cz/bezpecnostni-rele-01.html>
- [19] Schneider Electric XY2SB71 Obouruční ovl. pult, 2 tlačítka+1 nouzové zastav. hříbová hlava - ELEKTROPEN CZ. *Vítejte v našem obchodě - ELEKTROPEN CZ* [online]. Copyright ©2017 PEN CZ s.r.o. All Rights Reserved. [cit. 19.02.2020]. Dostupné z: [https://www.elektropen.cz/XY2SB71?gclid=Cj0KCQiAn8nuBRCzARIsAJcdIfMo3686IEwXlirUnjcGnpZ8Z-rArGp1IEyP8fmyd5RqQa3EJPAUO8kaAlMaEALw\\_wcB#gallery\[pp\\_gal\]/0/](https://www.elektropen.cz/XY2SB71?gclid=Cj0KCQiAn8nuBRCzARIsAJcdIfMo3686IEwXlirUnjcGnpZ8Z-rArGp1IEyP8fmyd5RqQa3EJPAUO8kaAlMaEALw_wcB#gallery[pp_gal]/0/)
- [20] Bezpečnostní laserový skener PSENscan - Pilz SK. *Moved* [online]. Copyright © Pilz GmbH [cit. 24.02.2020]. Dostupné z: <https://www.pilz.com/cs-SK/eshop/00106002197131/PSENscan-Safety-Laser-Scanner>
- [21] Bezpečnostní laserové skenery | S3000 Standard | SICK . *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © 2020 SICK AG [cit. 19.02.2020]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/bezpecnostni-laserove-skenery/s3000-standard/c/g187231>
- [22] Bezpečnostní laserový skener - Časopis Elektro - Odborné časopisy. *Odborné časopisy* [online]. Copyright © 2014 [cit. 04.04.2020]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/bezpecnostni-laserovy-skener-10857>
- [23] TEST - Základní bezpečnostní světelné závěsy Leuze MLC510-600 | Automatizace.HW.cz. *Automatizace.HW.cz | Elektronika v automatizaci* [online]. Copyright © 1997 [cit. 05.04.2020]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-komponenty/test-zakladni-bezpecnostni-svetelne-zavesy-leuze-mlc510-600.html>

- [24] Bezpečnostné nášľapné rohože - DailyAutomation. *Priemyselná automatizácia - on-line magazín* [www.DailyAutomation.sk](http://www.DailyAutomation.sk) [online]. Copyright © Copyright 2013 [cit. 24.02.2020]. Dostupné z: <https://www.dailyautomation.sk/bezpecnostne-naslapne-rohoze/>
- [25] Seidler, Ondřej. *Výukové pracoviště s průmyslovým robotem IRB 140* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 02.05.2020]. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní, Katedra robotiky. prof. Dr. Ing. Petr Novák. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/104688>
- [26] Pavelka, Václav. *Bezpečnost robotického pracoviště* [online]. Zlín, 2014 [cit. 09.03.2020]. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta aplikované informatiky. Ing. Petr Navrátil, Ph.D. Dostupné z: <https://theses.cz/id/jmfro4/>
- [27] Böhm, Jakub. *Bezpečnost obráběcích strojů* [online]. Brno, 2016 [cit. 25.03.2020]. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/61030>
- [28] Vocetka, Michal. *Výukové pracoviště s průmyslovým robotem ABB IRB140* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 25.03.2020]. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní, Katedra robotiky. Ing. Václav Krys, Ph.D. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/129724>
- [29] Dziač, Jan. *Bezpečnost při návrhu automatizovaných systémů* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 25.03.2020]. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Fakulta strojní, Katedra robotiky. Ing. Ján Babjak, Ph.D. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/136801>
- [30] *Object moved* [online]. Copyright © [cit. 05.04.2020]. Dostupné z: [https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/52942.pdf](https://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/52942.pdf)
- [31] *Document Moved* [online]. Copyright ©p [cit. 05.04.2020]. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/8974.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/8974.pdf)
- [32] Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robotiky. Centrum robotiky [cit. 10.03.2020].
- [33] *Object moved. 403 - Forbidden: Access is denied.* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106930A6205&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [34] Bezpečnostní laserový skener, Řada SZ-V, Návod k použití. Osaka: KEYENCE, 2017. 20 s.
- [35] *Object moved. 403 - Forbidden: Access is denied.* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0295EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [36] *Object moved. 403 - Forbidden: Access is denied.* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107046A2313&LanguageCode=cs&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [37] *301 Moved Permanently* [online]. Copyright © [cit. 12.05.2020]. Dostupné z: [https://cdn.sick.com/media/docs/6/56/356/Operating\\_instructions\\_S3000\\_Safety\\_Laser\\_scanner\\_cs\\_IM0067356.PDF](https://cdn.sick.com/media/docs/6/56/356/Operating_instructions_S3000_Safety_Laser_scanner_cs_IM0067356.PDF)



- [38] *301 Moved Permanently* [online]. Copyright ©T [cit. 12.05.2020]. Dostupné z: [https://www.sick.com/media/docs/9/29/329/Operating\\_instructions\\_deTec4\\_Core\\_cs\\_IM0049329.PDF](https://www.sick.com/media/docs/9/29/329/Operating_instructions_deTec4_Core_cs_IM0049329.PDF)
- [39] Object moved. *403 - Forbidden: Access is denied.* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: [https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10112EN\\_R4&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch](https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10112EN_R4&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)
- [40] Object moved. *403 - Forbidden: Access is denied.* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106713A0699&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [41] Object moved. *403 - Forbidden: Access is denied.* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: [https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10031EN\\_R15\\_HR&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch](https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10031EN_R15_HR&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)
- [42] Object moved. *403 - Forbidden: Access is denied.* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: [https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10282EN\\_R8&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch](https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10282EN_R8&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch)
- [43] Object moved. *403 - Forbidden: Access is denied.* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC040147-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [44] Náslapná rohož ESM-52D, 1600 x 1000 mm | Axima. *Elektrotechnická řešení | AXIMA Solutions* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: <https://www.axima-obchod.cz/naslapna-rohoz-esm-52d-1600-x-1000-mm>
- [45] Náslapná rohož ESM-52D, 1600 x 750 mm | Axima. *Elektrotechnická řešení | AXIMA Solutions* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: <https://www.axima-obchod.cz/naslapna-rohoz-esm-52d-1600-x-750-mm>
- [46] Hliníková náběžná lišta | Axima. *Elektrotechnická řešení | AXIMA Solutions* [online]. Copyright © [cit. 23.03.2020]. Dostupné z: <https://www.axima-obchod.cz/alu-nabezna-lista-6000-mm>
- [47] Ochranné systémy pro stroje | Alváris Profile Systems. *Ochranné systémy pro stroje | Alváris Profile Systems* [online]. Copyright © ALVÁRIS PROFILE SYSTEMS s.r.o., 2015 [cit. 08.05.2020]. Dostupné z: <http://www.ochranne-oploceni.com/spoje-meta.html>
- [48] Ochranné systémy pro stroje | Alváris Profile Systems. *Ochranné systémy pro stroje | Alváris Profile Systems* [online]. Copyright © ALVÁRIS PROFILE SYSTEMS s.r.o., 2015 [cit. 17.05.2020]. Dostupné z: <http://www.ochranne-oploceni.com/panely-penta.html>